П. М. БОРИСОВ

МОЖЕТ ЛИ ЧЕЛОВЕК ИЗМЕНИТЬ КЛИМАТ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва · 1970

В книге рассматриваются пути решения важной проблемы — как улучшить климатические условия и свести к минимуму зависимость сельского хозяйства от природной стихии.

Книга рассказывает об эволюции климата Земли от палеогена до наших дней; о причинах и закономерностях климатических изменений и роли Мирового океана в формировании климатов. Читатель познакомится с проектами преобразования природы и возможностями их практического осуществления.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Ответственный редактор

Доктор географических наук
С. Ю. ГЕЛЛЕР

2-9-7
31—69 НПЛ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уже давно привлекает внимание проблема улучшения климата на обширных пространствах, но, видимо, лишь с конца прошлого века, когда стала отчетливо вырисовываться громадная роль холодной Арктики в формировании климатов Земли, мысль исследователя обратилась к разработке способов уменьшения ледовитости, а затем и полного уничтожения льдов Северного Ледовитого океана, чтобы в первую очередь изменить климат в высоких и средних широтах Северного полушария.

Здесь нет необходимости излагать наметившиеся подходы к решению поставленной задачи. Это сделано в предлагаемой книге, автор которой вместе с тем является и автором очень интересного предложения по мелиорации климата в планетарном масштабе. Обоснованию этого предложения и посвящена книга.

Впервые о нем стало известно более 12 лет назад, когда в широкой печати была кратко изложена схема рекомендуемых П. М. Борисовым мероприятий по ликвидации ледяного покрова Арктического бассейна. Основная идея предложения Борисова — создать прямоток

теплых атлантических вод через Арктический бассейн, исключив вместе с тем противоток холодных вод из этого бассейна в Атлантику. Для этого рекомендуется с помощью мощных насосов, устанавливаемых в Беринговом проливе, перебрасывать поверхностные арктические воды в Тихий океан. Удаление последних и поступление дополнительного тепла из Атлантики должно предотвратить образование ледяного покрова в Арктическом бассейне, что в свою очередь приведет к потеплению климата.

Эта схема, сохраняя основные положения, была существенно усовершенствована, что позволило Борисову снять ряд выдвигавшихся против нее возражений. Но и сейчас еще остается очень много спорного и неясного. Так, пока не выявлена степень синхронности реакции природной обстановки обширных территорий на изменение ледовитости Арктического бассейна. Нельзя также считать доказанной и однозначность этой реакции. Например, в 30—40-е годы нашего столетия, когда ледовитость северных морей резко уменьшилась, произошло особенно сильное падение уровня Каспия, тогда как уровень Арала повышался. Очень слабо представляем мы себе результаты ликвидации вечной мерзлоты и т. д.

Вовсе не пытаясь исчерпать большой перечень вопросов, естественно, подлежащих выяснению при решении такой грандиозной проблемы, как планетарная мелиорация климата, есть, однако, основания утверждать, что данная проблема приобретает вполне реальное, осязаемое содержание. Существенный вклад в ее разработку вносят исследования автора этой книги, с которой, не сомневаюсь, с интересом познакомятся многие читатели.

Доктор географических наук С. Ю. **Геллер**

ПОКА МЫ НЕ ЗНАЕМ ЗАКОНА ПРИРОДЫ, ОН, СУЩЕСТВУЯ И ДЕЙСТВУЯ ПОМИМО, ВНЕ НАШЕГО ПОЗНАНИЯ, ДЕЛАЕТ НАС РАБАМИ «СЛЕПОЙ НЕОБХОДИМОСТИ». РАЗ МЫ УЗНАЛИ ЭТОТ ЗАКОН, ДЕЙСТВУЮЩИЙ (КАК ТЫСЯЧУ РАЗ ПОВТОРЯЛ МАРКС) НЕЗАВИСИМО ОТ НАШЕЙ ВОЛИ И ОТ НАШЕГО СОЗНАНИЯ — МЫ ГОСПОДА ПРИРОДЫ.

В. И. ЛЕНИН

Беды нашего климата

У России так много берегов Ледовитого океана, что нашу страну справедливо считают лежащей на берегу этого океана.

Д. И. Менделеев

Дыхание Ледовитого океана сковывает хозяйственную деятельность многих стран, расположенных в умеренных и полярных широтах Северного полушария. Сковывает прежде всего низкими температурами и продолжительностью зимы.

Наша страна с запада, и в особенности с юга и востока, ограждена горными хребтами, затрудняющими проникновение тепла и влаги. А с севера она широко открыта холодным тяжелым воздушным массам, которые, формируясь над огромными по площади морскими льдами Арктики, беспрепятственно распространяются над незащищенными равнинами СССР.

На территории СССР холодная Арктика порождает затяжные зимы, поздние весенние и ранние осенние заморозки и тем самым сокращает вегетационный период. Поэтому, как правило, все сельскохозяйственные полевые работы производятся у нас в крайне ограниченные сроки, к тому же лимитированные погодой (в значительной мере зависящей от ледовитости Арктики). Они неизбежно проходят с большим напряжением и нередки случаи, когда действительно «день год кормит». Не удивительно, что в наших условиях урожай может считаться гарантированным только с момента, когда он засыпан в закрома и элеваторы.

Еще в 1892 г. основоположник отечественной климатологии А. И. Воейков писал: «Наша суровая зима и короткое лето невыгодны для народного хозяйства; они мешают нам возделывать растения более теплых стран и заставляют каждого хозяина держать более животных и орудий, чем в Западной Европе, более тратить на устройство домов, отопление и теплую одежду» [1].

В 1962 г. в Обращении ЦК КПСС и Совета Министров СССР говорилось: «Прежде чем появятся на столе молоко, мясо и масло, надо потратить много труда, особенно в наших суровых климатических условиях, когда в большинстве районов страны семь-восемь месяцев продолжается осенне-зимний период, что затрудняет содержание скота и производство кормов».

От холодных воздушных масс не защищены даже наиболее южные территории среднеазиатских и закавказских республик. Так, холодная волна арктического воздуха в декабре 1924 г. достигла Западной Грузии, где в течение нескольких дней погибли мандариновые, апельсиновые деревья и другие субтропические культуры.

В феврале 1929 г. волна холода прокатилась по всей Европейской части СССР, захватила Крым и Кавказ, прошла Турцию, через Сирийскую пустыню проникла в Аравию. На Черноморском побережье Крыма температура понижалась до —25°, на побережье Кавказа до —10°. В результате погибло много виноградников и цитрусовых.

В феврале 1949 г. арктический воздух вторгся в Закавказье, Среднюю Азию, Турцию, Иран. В Ташкенте температура опускалась до —30°, в Иране замерзли сотни людей, улицы Иерусалима были покрыты 60-сантиметровым слоем снега. В Грузии насаждениям цитрусовых был нанесен колоссальный ущерб, в результате которого даже через 11 лет продажа государству цитрусовых составила всего лишь 73% от уровня, предшествующего катастрофе.

Зимой 1962/63 г. холодный арктический воздух заполнил все северные континенты — полностью Европу, Азию (до Турции) и Северную Америку (до Флориды). Усилились холода, увеличилась ледовитость в Арктических морях. Во второй половине декабря начались

[1] *А. И. Воейков.* Климат и народное хозяйство. — Сб. «Воздействие человека на природу». М., Изд-во АН СССР, 1963, стр. 111.

«обвалы» ледяного арктического воздуха, проникшие в теплые южные широты. Интенсивному выхолаживанию способствовал установившийся снежный покров. В январе обвалы усилились: в центре США, в штате Колорадо, температура понизилась до —36°, в Швейцарии до —39°, в Тулузе, где вообще не бывает морозов, до —17°. На Лазурном берегу и в Марселе пальмы стояли под снежным покровом. Лед сковал все западноевропейские реки и каналы Венеции. С третьего до пятого января в Западной Европе от сильных морозов погибло более 700 человек.

В эту же зиму во многих областях СССР длительное время отмечались низкие температуры: в Москве —30°, в Нарофоминске —38°. Небывалые холода (в отдельные дни до —37°) были на севере Молдавии и местами на Украине. В Одессе стояли 20-градусные морозы, порт был скован льдом и покрыт снегом. Тяжелые ледовые условия сохранились и весной на многих северных морях, особенно на Баренцевом, Белом, Балтийском. Весна наступила с большим опозданием. Из Полярного бассейна часто вторгался холодный воздух. Весь март и первую декаду апреля на Европейской территории СССР стояла настоящая зима. В конце второй декады марта даже в Волгоградской и большей части Ростовской областей температура понижалась до —38° при малом снежном покрове. Массы холодного воздуха распространились по территории среднеазиатских республик.

Как всегда при запоздалых веснах, похолодание сменилось резким потеплением, «дружной весной». Талые воды плохо впитывались в промерзшую почву и неслись в водоемы, создавая ложное представление об обильном увлажнении полей. На больших площадях пахотных земель озимые хлеба, главным образом пшеница, или совсем погибли, или вышли настолько изреженными, что их пришлось пересеивать другими культурами.

Лето вследствие слабого увлажнения почвы весной было сухим и жарким. Сбор хлеба был существенно ниже планируемого. Наша страна понесла, как и во все другие засушливые годы, огромные потери в животноводстве, а также в пищевой и легкой промышленности. Прирост национального дохода в 1963 г. составил 6,8 млрд. руб. против 14,3 млрд и 15,7 млрд в урожайные 1958 и 1964 гг.

Сибирские морозы также в значительной мере связаны с ледяной Арктикой. Когда современный азиатский зим-

ний антициклон получает достаточное питание с севера путем притока арктических масс воздуха, формирующиеся в нем полярные континентальные массы воздуха приобретают особенно низкие температуры и свободно растекаются на запад. Несколько менее свободно они распространяются в сторону Тихого океана, образуя зимние муссоны Дальнего Востока, а еще труднее им проникнуть на теплый юг, так как здесь они вынуждены преодолевать высокие южноазиатские горные хребты.

Недаром А. И. Воейков в 1911 г. с горечью писал: «Как ни обширна Россия, но теплых климатов у нас немного» [1]. И действительно, 35% территории СССР занято арктическими и редколесными тундрами, 47% — вечной мерзлотой, не менее 75% испытывает периодическое охлаждение до —40° и ниже, и даже лучшие уголки Закавказья и Крыма, как уже говорилось, не избавлены от возможности охлаждаться до —20°.

Но оледенелая Арктика порождает осложнения в сельском хозяйстве не только вследствие холодных и затяжных зим. Холодные, а потому обезвоженные арктические воздушные массы при весенне-летнем перемещении на юг прогреваются. Чем выше температура воздуха, тем больше влаги нужно для его насыщения. Недостаток влаги влечет за собой иссушение растительного покрова и почвы. При определенных синоптических условиях иссушение заходит настолько глубоко, что холодные воздушные массы, прогреваясь, порождают суховеи и засухи — страшный бич земледелия. И. П. Герасимов и К. К. Марков отмечали, что «в настоящее время простое увеличение ледовитости Арктического бассейна вызывает . . . засуху на Украине и в Поволжье» [2].

История нашего сельского хозяйства в дореволюционное время и в первые годы после революции — цепь голодных лихолетий с редкими высокоурожайными годами. Так, например, в период 1889—1921 гг. из-за засух неурожайными были 20 лет из 33! Сильные засухи вызывали массовую гибель скота, эпидемии и высокую смертность людей.

[1] *А. И. Воейков.* О перспективах субтропического хозяйства на Черноморском побережье. — Сб. «Воздействие человека на природу». М., Изд-во АН СССР, 1963, стр. 217.

[2] *И. П. Герасимов* и *К. К. Марков.* Ледниковый период на территории СССР. М., Изд-во АН СССР, 1939.

В неурожайный 1901 год В. И. Ленин писал: «Опять голод! Не одно только разорение, а прямое вымирание русского крестьянства идет в последнее десятилетие с поразительной быстротой и, вероятно, ни одна война, как бы продолжительна и упорна она ни была, не уносила такой массы жертв» [1].

Даже царское министерство внутренних дел в 1908 г. вынуждено было признать, что угроза «умереть голодной смертью является ежегодно весьма возможной участью значительного числа земледельцев России».

В странах Южной Америки, Индии, Турции засуха вызывает голод и вымирание больших масс населения. В США во время засухи тысячи мелких фермерских хозяйств разоряются и, оставив землю, вынуждены скитаться в поисках куска хлеба. Не случайно говорят, что победа над засухой равнозначна выигрышу величайшей в мире битвы.

Климат нашей страны также чрезвычайно неустойчив. Например, в центре Арктического бассейна на дрейфующей станции «Северный полюс — 5» 28 января 1956 г. стояли морозы — 41°, а через двое суток температура поднялась почти до оттепели —1°. 31 января того же года на той же полярной станции и в Сочи была зарегистрирована одинаковая температура —4°. Повышение температуры в разгар зимы в центре Арктического бассейна до —1° тем более примечательно, что в эти дни в Москве стояли 30-градусные морозы.

Неустойчивость температурного режима видна и из данных длительных повсеместных наблюдений. В Москве, как известно, средняя температура января —10,3°, но иногда она опускалась только до —3°, температуры, обычной для такого южного города, как Одесса, а нередко и до —22°, что свойственно Северному Шпицбергену, Земле Франца Иосифа и самой северной точке Новой Земли (рис. 1). Такое же положение наблюдалось и в Ленинграде, где средняя температура января колебалась от —24,4°, как в Арктике, до 0,6°, как в Феодосии, Анапе и даже Ташкенте.

Неустойчивость нашего климата не ограничивается годовыми или многолетними колебаниями. Еще бо́льшая амплитуда отмечена в многовековом ходе. Годовая сумма

[1] *В. И. Ленин.* Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 297.

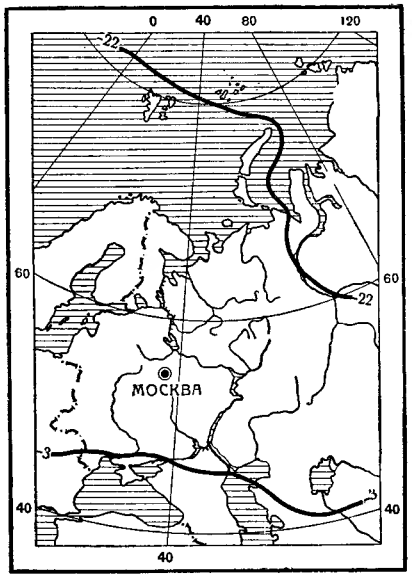


Рис. 1. Границы колебаний среднемесячной температуры января в Москве (изотермы −22° и −3°)

осадков равнинного Алтая может колебаться от 160 мм, как, например, в 60-х годах XIX в., до 500 мм уже в нашем веке.

Могли бы мы представить, что на протяжении жизни одного-двух поколений ландшафт без человеческого вмешательства самостоятельно изменился бы, допустим, от пустыни до лесостепи и наоборот. Только с таким немыслимым скачком можно было бы сравнить колебания нашего климата.

В более далеком историческом прошлом отмечались еще более резкие колебания. По данным русских летописей, в 1454 г. 2 июля «мороз рожь побил», а в 1485 г. «два месяца января и февраля было так тепло, что сады раскинулись и цвели, и трава великая была и птицы гнезда вили». В 1524 г. снег не сходил до 25 мая. Пахать начали не в апреле, как обычно, а только в июне. Как пример неустойчивости климата особо следует отметить четвертьвековую засуху, охватившую нашу страну в XIV в.

Зависимость резких охлаждений и засух от степени ледовитости Полярного бассейна достаточно постоянна, даже если проследить эту зависимость крупноплановано, в течение веков. Однако в отдельные годы эта зависимость меняется, так как изменения в циркуляции водных масс Мирового океана и в воздушной оболочке Земли могут вызывать крупные отклонения от средних погодных условий — резкие заморозки в июле и длительные оттепели в январе. Чем выше разность температур между экватором и полюсом, тем беспокойнее режим атмосферы, тем больше увеличиваются частота и размах отклонений. Поэтому в периоды, когда Полярный бассейн был больше всего забит льдом, как, например, в XIV—XV вв., на территории СССР возрастала частота суровых продолжительных зим, засух, бурь, гроз, и в результате увеличивалось число неурожайных и голодных лет.

Но холод является тормозом не только для сельского хозяйства. В той или иной степени он сковывает вообще всякую производительную деятельность человека. Чем дальше на север, тем со все бóльшим напряжением и затратами работают промышленность, строительство и транспорт. Сам Арктический бассейн доступен для плавания судов в течение двух—четырех месяцев и то в прибрежной зоне.

Однако экономика нашей страны развивается так, что из года в год возрастает удельный вес капиталовложений в северные и восточные районы, где сосредоточены колоссальные запасы каменного угля, нефти и газа, железных руд, графита, золота, драгоценных камней, в том числе алмазов, цветных и редких металлов, слюды, нефелина, различных солей, редких и рассеянных элементов, химического сырья, строительных материалов. Часть своих производительных сил Советский Союз размещает в Сибири, где сосредоточены три четверти общесоюзных запасов угля, 85% гидроэнергии, где открыты многочисленные месторождения нефти и газа и где имеется много районов с высокой концентрацией природных ресурсов, экономически выгодных для разработок.

Французский публицист Пьер Рондьер писал: «Сибирь (по территории в два раза бóльшая, чем США) уже сейчас давит весом производимой ею стали и угля на судьбы мира. А через 30—40 лет, к началу XXI столетия, в результате огромного труда она может возглавить таблицу мировых производителей. Сказочная и необъятная, она

уже существует. И тот, кто ничего не знает о ней, не знает будущего нашей планеты» [1].

Ныне в Сибири широко развернулось строительство металлургических, химических и машиностроительных предприятий, авто- и железнодорожное строительство, различные энергоемкие производства мирового значения. Вместе с индустриализацией, проводимой на огромной территории от Урала до Тихого океана, идет строительство новых городов, перестройка старых с обеспечением большого современного комплекса коммунального оборудования на современном уровне. И это все — Сибирь, где, как известно, находится полюс холода Северного полушария.

Но необычайная по размаху индустриализация испытывает ряд специфических трудностей, определяемых суровыми природными условиями. Многолетний опыт СССР, США и Канады показал, что при равном техническом уровне себестоимость выпуска единицы продукции в условиях севера в несколько раз выше, чем в условиях климатического режима средних широт. Только очень большие запасы и концентрация природных ресурсов окупают высокие дополнительные затраты.

Из-за отсутствия дешевых путей сообщения слабо используются лесные и ископаемые богатства восточных районов. Так, например, огромная по площади, но малообжитая Якутия с ее алмазами, нефтью, газом, запасами угля, занимая 15% территории СССР, не имеет железных дорог. Реки Якутии, как, впрочем, и всей Сибири, не связаны друг с другом и текут в северном направлении в малодоступный для судоходства Арктический бассейн. Использование же в широком масштабе современной авиации пока неэкономично и требует вследствие редкого населения и тяжелых природных условий больших материальных затрат. Это относится и к Восточной Сибири, занимающей треть территории и насчитывающей всего 3% населения СССР. В то же время ее сырьевые и энергетические ресурсы превосходят ресурсы даже такого богатейшего промышленного района, как Урал.

В холодную часть года почти вся наша страна долгое время лежит под снегом. За редким исключением все реки

[1] *Н. Н. Некрасов.* Научные вопросы размещения производительных сил. — Вестник АН СССР, 1963, № 5.

и искусственные моря — Камское, Горьковское, Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское, не говоря уже о сибирских, скованы льдом, транспортная техника омертвляется на полгода и более.

В подавляющей части наших морских портов — азовских, балтийских, беломорских, на побережье Северного Ледовитого океана и далее до Владивостока — жизнь замирает, так как к ним нет свободного доступа из-за длительного ледостава.

Из-за стойких морозов, обилия снега, резких ветров и чрезвычайно низких температур промышленные, транспортные и гражданские сооружения возводятся с повышенной прочностью и, следовательно, со значительным удорожанием. По этим же причинам и сам процесс строительства также удорожается.

Напомним, что для наиболее производительного труда необходима температура в пределах 15—25°, а для максимального развития растительного покрова 25—30° в течение всего года. Как далеки эти условия от действительного теплового режима нашей страны!

Все приведенные данные позволяют утверждать, что ни одно государство в мире не затрачивает таких больших средств на борьбу с холодами, как СССР. Материальный ущерб, причиняемый холодами, столь велик, что он становится далее нетерпимым. Поэтому среди задач, поставленных Коммунистической партией перед советской наукой, приобретают большое экономическое значение задачи уменьшения, а затем сведения к минимуму зависимости нашего хозяйства от природной стихии и разработка методов воздействия на климатические условия.

Затраты, определяемые холодным климатом, растут из года в год. Ныне они достигли уровня, когда значительно дешевле и легче устранить причину болезни, чем нести огромные затраты на борьбу с ней. Но прежде чем начать лечить болезнь, должны быть вскрыты причины ее возникновения и последующего развития. Иначе говоря, прежде чем улучшать климат, необходимо знать, каким он был в далеком и близком прошлом, установить закономерности в его динамике, особенно на последнем этапе геологической истории Земли. Затем уже на базе познанных закономерностей изыскать надежный и конструктивный метод его улучшения.

2 Заказ № 443

Гос. публичная научно-техническая библиотека СССР
ЭКЗЕМПЛЯР
ЧИТАЛЬНОГО ЗАЛА

Климаты далекого прошлого (70—0,5 млн. лет назад)

. . . Северный полюс не был холодным, потому что океанические течения проходили через полюс и приносили с собой большие количества тепла.

П. П. Лазарев

Возраст нашей планеты насчитывает свыше пяти миллиардов лет. Климат на ее поверхности изменялся неоднократно. Но нам нет нужды углубляться в чрезмерно далекие времена. Да и материалов по этим изменениям очень мало. Отметим лишь, что даже за последние несколько сот миллионов лет, в отношении которых геологическая и палеогеографическая документации имеют достаточную полноту и надежность, фиксируются крупные изменения климата. Они сопровождались значительными понижениями температуры и континентальными оледенениями, подобными ледниковому периоду, в котором мы живем. Однако такие изменения были очень редки. К их числу можно отнести оледенение верхнего палеозоя примерно 200—220 млн. лет назад, а также еще три-четыре оледенения более древнего возраста. Менее значительные понижения температуры, сопровождавшиеся оледенением лишь некоторых высоких и удаленных от экватора горных систем, происходили несравненно чаще. Но все они не были продолжительными. Так, время переживаемого нами ледникового периода вместе с межледниковьями оценивается лишь в полмиллиона лет. Наоборот, мягкие климатические условия были в сотни раз длительнее. Поэтому мы вправе считать, что мягкий климатический режим, гораздо более

теплый, чем тот, который мы наблюдаем ныне в северных полярных и умеренных широтах, присущ Земле в неизмеримо большей мере, чем современный ледниковый. В этом легко убедиться, рассматривая подробно изменения климата за последнюю геологическую эру — кайнозой [1]. Кайнозойская эра делится на два очень неравных периода: теплый третичный, насчитывающий около 70 млн. лет, и холодный четвертичный (ледниковый, антропоген), продолжающийся в наши дни и насчитывающий (по оценкам различных исследователей) от 500 до 800 тыс. лет.

Примерно 80 млн. лет назад, на рубеже мезозоя и кайнозоя, Земля переживала один из наиболее благоприятных климатических оптимумов. Он иногда именуется мел-палеогеновым. Тогда климат субполярных широт напоминал современный субтропический. Арктические острова и Антарктида были покрыты лесами. Температура поверхностных вод Арктического бассейна позднего мелового времени в районе Аляски и Сибири достигала 14°С, а на экваторе она была лишь ненамного выше, чем в наши дни.

В этом географическом парадоксе нет ничего удивительного. Даже при современных ледниковых условиях поверхностные воды Мирового океана с температурой от 20 до 27—28° занимают 53% площади, а с температурой 4° и ниже только 13%, что отвечает средней температуре 17,4°. Следует иметь в виду, что в позднемеловое время Северный Полярный бассейн имел более интенсивный водообмен с экваториальными бассейнами, чем ныне (рис. 2). Кроме того, в современных холодных условиях Земля теряет тепло в объемах несравненно бо́льших, чем при более теплом климатическом режиме:

на отражение солнечной радиации ледяными полями, плавающими на поверхности Мирового океана, и ледяными щитами, покрывающими Антарктиду и Гренландию;

[1] Два столетия назад были приняты названия отдельных геологических формаций: первичная, переходная вторичная, третичная, четвертичная. Две последние формации объединены в новейшую эру геологической истории Земли — кайнозой. Третичная система расчленена на палеоген (который в свою очередь делится на эпохи палеоцен, эоцен, олигоцен) и неоген (объединяющий эпохи миоцен и плиоцен).

на отражение радиации теми пространствами суши, которые ежегодно покрываются снегом на несколько месяцев;

в мировое пространство, потому что содержание водяных паров в атмосфере из-за более низкой температуры понижается.

Наконец, повышенное отражение солнечной радиации пустынями, альбедо [1] которых выше альбедо любого растительного покрова, тоже отбирает у Земли тепло.

В мел-палеогеновый оптимум пустынь не было. Они сформировались в конце неогена в результате значительного похолодания в высоких широтах, а потому и общего снижения испарения с поверхности Мирового океана. Наиболее аридные [2] области, площадью меньше современных пустынь, покрывались тропической саванной с галерейными лесами и оазисами в долинах рек.

Разделение на климатические зоны, которое является следствием резкого температурного контраста между полюсами и экватором, было в те времена как бы стерто за счет более высоких температур в полярных зонах обоих полушарий. Одни и те же виды и роды растений найдены в отложениях Гренландии, Шпицбергена, Медвежьих островов, Северной Америки, Западной Европы, СССР, Австралии, Антарктиды, Африки.

Но около 70 млн. лет назад началась крупнейшая депрессия Мирового климата, кульминация которой наступила 18—20 тыс. лет назад. В это время происходило устойчивое и нарастающее охлаждение Земли. На рис. 3 хорошо видно, как падала температура самого холодного месяца, а вместе с ней сумма годовых осадков в районах Киева, Средней Азии и Якутска и как менялась среднегодовая температура в Западной Европе. Поразительная синхронность и однозначность изменения всех температур и осадков отлично свидетельствует об их взаимосвязи.

---

[1] Альбедо — характеристика отражательной способности поверхности по отношению к солнечной радиации. Определяется процентным отношением интенсивности радиации, отраженной поверхностью, к интенсивности радиации, падающей на эту поверхность.

[2] Аридные области — области с недостаточным атмосферным увлажнением — сухие, засушливые.

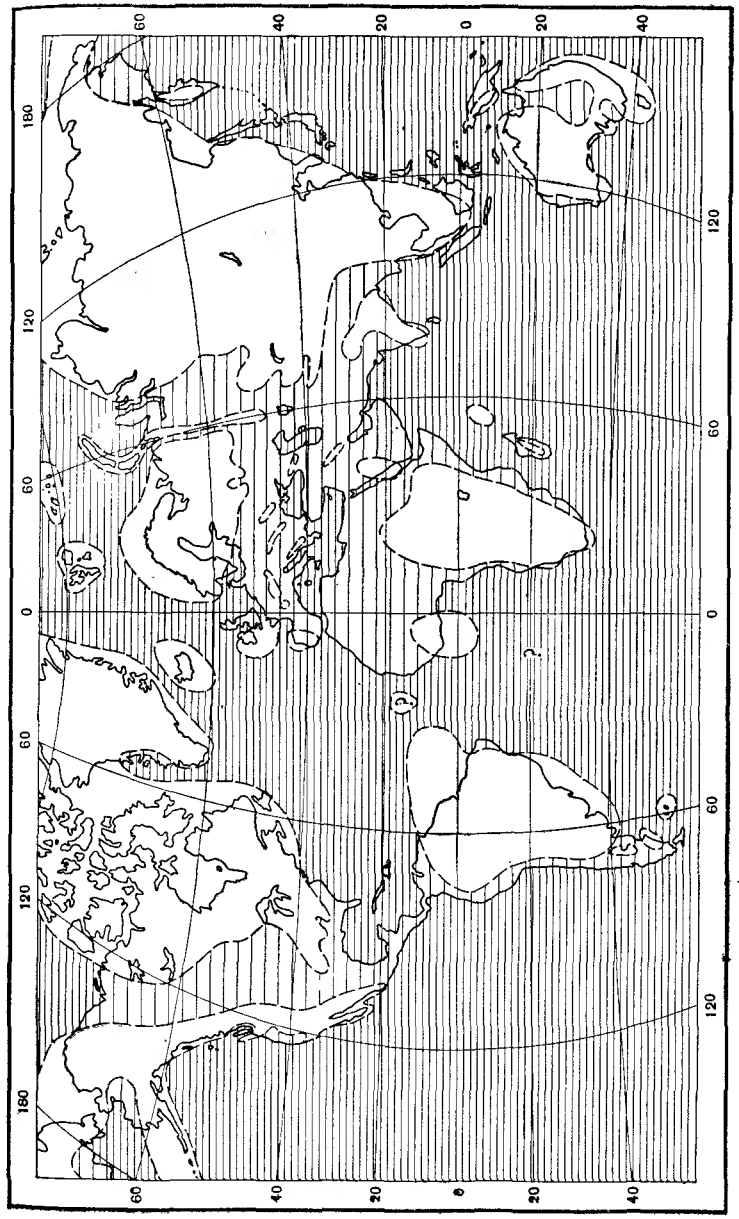


Рис. 2. Палеогеография мелового периода. Верхнемеловая эпоха (по Н. М. Страхову). Редкая штриховка — современная суша, занятая морями

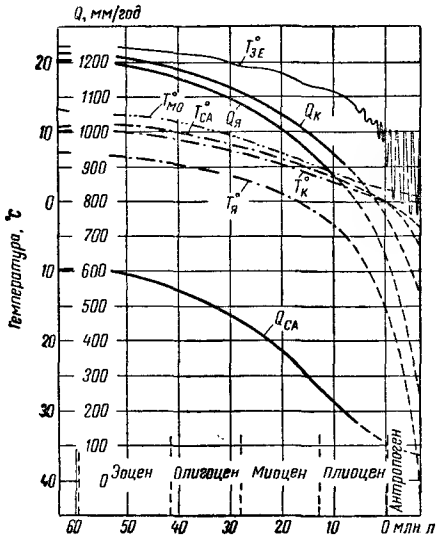


Рис. 3. Сопоставление изменений температур и осадков в кайнозое в различных точках Евразии T°$_{зе}$ — среднегодовая в Западной Европе (по П. Вольдштедту); T°$_{мо}$ — придонного слоя воды Мирового океана у экватора (по Ч. Эмилиани); T°$_{са}$ — самого холодного месяца в Средней Азии; T°$_{к}$ — в Киеве; T°$_{я}$ — в Якутске. Осадки: $Q_{са}$ — в центре Средней Азии; $Q_{к}$ — в Киеве; $Q_{я}$ — в Якутске (по В. М. Синицину). Горизонтальный масштаб антропогена увеличен примерно в 10 раз.

Посмотрим, как по мере депрессии Мирового климата в третичном периоде холод обеднял растительный покров в северных широтах.

В **палеоцене** под 82° северной широты, на Земле Гриннелла росли озерная лилия, роза, тополь, береза; в Гренландии — каштан, виноградная лоза, гинкго, дуб и др. Магнолии доходили иногда до 70° северной широты. Климат Поволжья был теплый и влажный, такой, как сейчас на юге Японии и в Юго-Восточном Китае. Здесь росли пальмы, папоротники, вечнозеленые дубы, лавровые деревья. Среди вечнозеленых густых лесов встречаются, однако, как и ныне в Китае и Японии, формы более умеренного климата с опадающими листьями — бук, береза, дуб, тополь, ясень.

В **эоцене** на Шпицбергене, Крайнем Севере, Европейской части СССР и Северном Урале произрастали субтропические хвойно-широколиственные леса с участием падуба, мирты, пальмы, а на севере Якутии и Новосибирских островах — тополь, секвойя, сосна. Северная граница пальм достигала бухты Кука на Аляске, т. е. 62° северной широты; флора, очень сходная с флорой Юго-Востока Азии, была распространена на севере Канады, в Гренландии и Испании. Вся территория СССР,

кроме, возможно, высоких гор, была покрыта вечнозелеными лесами. На Украине росли пальмы, ныне распространенные в Индокитае, на Филиппинских островах и в Индо-Малайском архипелаге. Но уже в конце эоцена начинается похолодание.

В **олигоцене** температура глубинных вод под экватором, которая в конце мезозойской эры равнялась 14°, падает до 10,4 ±0,5°. Похолодание климата прогрессирует и принимает еще более четкий планетарный характер. На территории СССР смещаются границы лесных зон. Субтропические палеогеновые, так называемые полтавские леса, под влиянием более низких температур на северо-востоке, самой холодной области Евразии, отступают на юго-запад и замещаются листопадными лесами умеренного типа — тургайскими, которые, распространяясь на запад, пересекают границу Урала. Европа охлаждается более медленно: наряду с формами умеренного климата (тополь, орешник, граб, бук, каштан, виноград и др.) встречаются и тропические пальмы, хлебное дерево и др.

В **миоцене** ускорился процесс миграции из северо-восточных областей Евразии на юго-запад к теплой Атлантике наиболее влаго- и теплолюбивой растительности. Исследования показали, что в первой половине миоцена в лесах Верхоянско-Колымской области еще встречались тсуга, кедр, таксодиевые, богатый набор сережкоцветных и широколиственных пород — орех, каштан, липа, бук. К концу миоцена состав лесов обедняется за счет широколиственных, таксодиевых, тсуги. На Новосибирских островах еще продолжали произрастать секвойи и болотный кипарис, следовательно, в то время в Арктическом бассейне дрейфующие льды существовать не могли.

В Западной Европе миоценовая флора напоминает современную флору атлантических штатов Северной Америки, Южного Китая и Закавказья. Во Франции растут различные лавровые, секвойя, бамбук, пальмы, древовидные папоротники.

В первой половине миоцена в Крыму господствует теплый и влажный климат, весьма близкий к влажному субтропическому климату типа Закавказья при годовых осадках более 1000 мм, с ровным годовым ходом и среднемесячными температурами зимой не ниже нуля. Во второй половине отмечается переход к средиземноморскому

климату (влажному в зимнее полугодие). В области Ставрополья, Нижней Волги, Нижнего Дона и Южной Украины, ныне входящих в степную зону, до начала верхнемиоценового века удерживались богатые по составу широколиственные буково-дубовые леса с реликтами вечнозеленых растений. Сарматская флора Южной Украины имела ярко выраженный характер современной растительности умеренных широт Китая: каштан, граб, клен, орех, бук, дубы, лавр и другие деревья, главным образом с опадающей листвой. Сарматская флора Таганрога была богаче современной флоры Западного Закавказья.

В мэотисе (конец миоцена) флора и фауна Украины также свидетельствуют о более теплом и влажном климате, чем современный. На юго-западе обнаружены носорог, антилопа, жираф, страус и др. В миоцене степной растительности на пространствах современных южнорусских степей еще не было.

В плиоцене топография континентов и, видимо, дна Мирового океана приняла почти современное очертание. Температура придонных вод у экватора в верхнем плиоцене упала до 2,2°; ныне она равна в среднем 1,75°. Однако в среднем температура поверхностных вод океанов еще достаточно высока. У Исландии она на 5° выше, чем в настоящее время, а в Арктическом бассейне близка к температуре воды современных морей Северной Европы и Тихого океана, но не Арктики. Следовательно, Арктический бассейн в то время также еще не имел ледяного покрова, и разница температур между экватором и Северным полюсом была примерно в два раза меньше, чем в наше время. Несмотря на то что в течение неогена похолодание прогрессировало, к концу плиоцена климат оставался еще довольно мягким. В Причерноморье существовала богатая фауна саваннового типа, в составе которой отмечается ряд теплолюбивых форм. На Амуре росли гинкго, дзельква, ильм. В Восточной Сибири лиственная тайга замещалась хвойными лесами. В пределах Якутии по крайней мере до начала антропогена сохраняются такие тепло- и влаголюбивые растения, как бразиния, американский серый орех и др.

На территории Европейской части СССР в плиоцене леса еще господствуют в гораздо большей степени, чем ныне, хотя и теряют субтропические элементы, которые были вкраплены в листопадные леса миоцена. Нахождение в Западной Европе остатков гиппопотама в верхнеплиоценовых отложениях показывает, что климат в то время был значительно теплее современного.

Приведенные примеры иллюстрируют важное положение — при идентичности (по крайней мере в крупных частях) топографии континентов и очертаний берегов Мирового океана и при отсутствии дрейфующих льдов в Арктическом бассейне на пространствах Евразии, в том числе и на территории СССР, климат был более благоприятный, чем в наши дни, растительный мир, тепло- и влаголюбивый более разнообразен, площадь современных пустынь меньше и не так аридна, области, ныне подверженные засухам, увлажнены значительно лучше. В целом биологическая продуктивность была несравненно выше, чем в наше время. Та же картина наблюдалась и на северо-американском континенте.

Третичный период заканчивается плиоценом. Как мы видели, на всем его протяжении с определенным ускорением происходило охлаждение всей поверхности Земли. В наибольшей мере охлаждались полярные широты, в наименьшей — экваториальные. На последнем этапе плиоцена охлаждение создало такой «холодный фон», достигло такого «кризисного порога», что дальнейшее, даже незначительное понижение температуры вызывало оледенение поверхности Полярного бассейна, а затем и оледенение северных областей континентов. С появлением оледенения северных полярных широт начался новый период в геологической истории Земли. Он получил название «четвертичный» по времени и «ледниковый» по содержанию. Учитывая появление в этот период человека, академик А. П. Павлов предложил новое название — «антропоген».

Климаты недавнего прошлого (500 000—20 000 лет назад)

При каждом интерстадиале, а тем более при крупных межледниковьях, в составе растительного покрова возрастали тепло- и влаголюбивые компоненты. Флора и фауна становились богаче. В ледниковые же эпохи имело место, и это важно подчеркнуть, не только сильное похолодание в областях оледенения, но и весьма сильная аридизация.

И. П. Герасимов

Не менее трех-четырех оледенений пережила Земля за время четвертичного периода (антропогена). Этот период делится на две очень неравные части: плейстоцен, продолжительность которого определяется в 500 000 лет, и голоцен, возраст которого — 12 000 лет. Кульминация последнего оледенения Евразии и Северной Америки произошла около 20 000 лет назад, т. е. в сравнительно недавнем геологическом прошлом. В антропогене климат менялся чрезвычайно резко. На рис. 3 видно, насколько температурная кривая третичного периода спокойна по сравнению с лихорадочной кривой антропогена.

Нет нужды характеризовать каждую из эпох плейстоцена ввиду их принципиальной схожести. Поэтому остановимся лишь на днепровском оледенении как максимальном и микулинском межледниковье, поскольку оно наиболее близко к нашему времени.

Днепровское оледенение (рисс в Западной Европе, иллинойс в Северной Америке) было наиболее обширным. В кульминацию своего развития европейский ледниковый покров охватывал территорию Лондона, Кракова, Киева, Днепропетровска и доходил почти до Волгограда; по Днепру он опускался почти до 48° северной широты (рис. 4). В Северной Америке ледник перекрывал всю северную половину континента, по долине реки

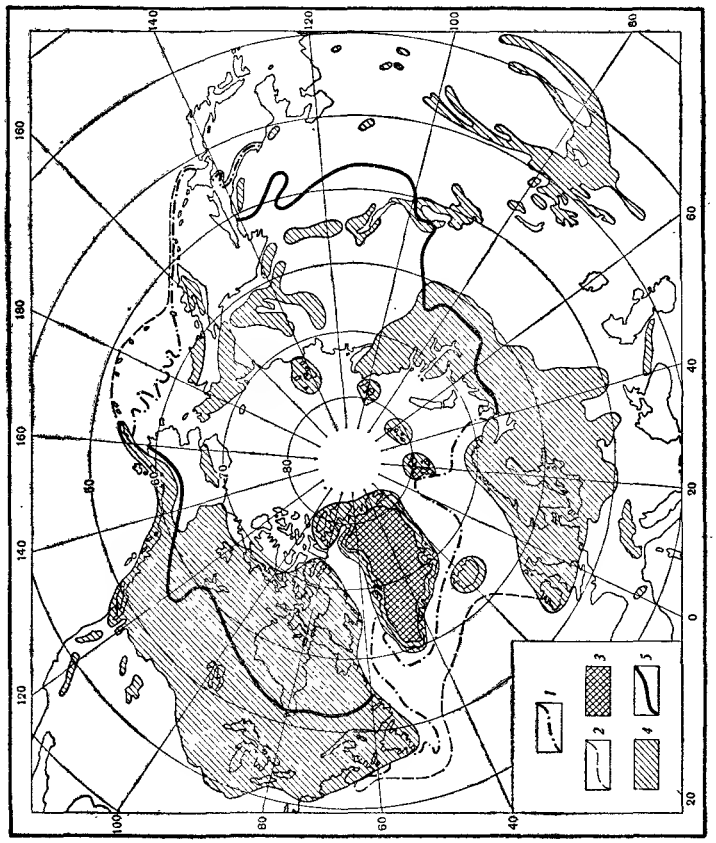


Рис. 4. Максимальное распространение льдов Северного полушария в четвертичном периоде. Материковые льды наземные и подземные и морские льды (по К. К. Маркову)

1 — Современные границы морских льдов;
2 — Древняя граница морских льдов;
3 — Современные наземные материковые льды;
4 — Древнее наземное максимальное оледенение;
5 — Современная граница многолетней мерзлоты и подземного оледенения

Миссисипи опускался еще южнее, до 37° северной широты, и заканчивался в 1500 км от линии тропика. Мощность Европейского щита достигала в районе Скандинавии 3,5, в районе Новой Земли 4 км. Мощность Северо-Американского щита была того же порядка.

Ледяные покровы как континентов, так и Полярного бассейна из-за очень высокой степени отражения солнечной радиации являлись источниками устойчивого добавочного охлаждения планетарного значения. Они распространяли вокруг себя холодный сухой воздух, сходный с современными воздушными массами Антарктиды, которые с периферии ледяного щита стекают иногда с ураганной скоростью. За пределами континентальных покровов получали широкое развитие тундры, пустыни и полупустыни. В Европе тундра покрывала территорию Ла-Манша, Парижа, Люксембурга, Франкфурта, Лейпцига, а редколесье с элементами тундровой, лесотундровой и ксерофильной [1] растительности достигало берегов Средиземного моря.

Микулинское межледниковье (рисс — вюрм в Западной Европе и сангомон в Северной Америке) охватывает примерно 30 000 лет и датируется временем в интервале 100000—70 000 лет назад. По сравнению с последующими климатическими оптимумами оно было более благоприятным. Ледники в Скандинавии исчезли полностью. С наступлением кульминации теплого времени леса и растительность водоемов на территории Белоруссии были значительно богаче современных. В Крыму степной климат становился более влажным. Широколиственные леса с буком, грабом, липой, тиссом и вечнозеленым падубом из своих убежищ на Балканах и Кавказе расселились по Русской равнине, достигая Средней Волги. Дуб заходил за Полярный круг. Климат северо-восточной Европы становился близким к тому, какой в настоящее время существует в Западной Европе. Ледники исчезали даже с гор Северо-Востока СССР. Климат там был сходный с современным климатом Южной Якутии.

Однако климат микулинского межледниковья, как, впрочем, и климат любой эпохи плейстоцена, не был устойчивым. Об этом свидетельствует многофазность раз-

[1] Ксерофильная растительность — растительность сухих местообитаний.

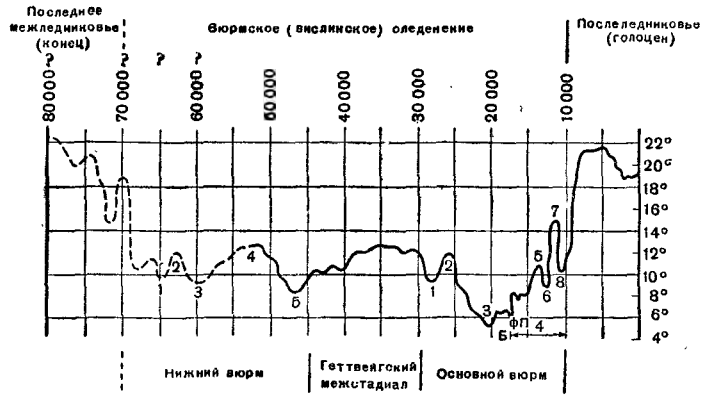


Рис. 5. Ориентировочная кривая среднеиюльских температур в позднечетвертичное время и стадии вюрмского оледенения в Центральной и Северной Европе (по Гроссу)

Фазы нижнего вюрма:

1 — I стадиал; *2* — I (амерсфортский) межстадиал; *3* — II стадиал; *4* — брёруп — лопштедский межстадиал; *5* — максимум

Фазы основного вюрма:

1 — II фаза деградации; *2* — паудорфский межстадиал; *3* — максимум (Б — бранденбургская); Ф — франкфуртская; П — померанская (поморская) фаза; *4* — поздний вюрм (вюрмское позднеледниковье); *5* — бёллингский межстадиал; *6* — средний дриас; *7* — аллерёдский межстадиал; *8* — верхний дриас (стадия сальпаусселькя)

вития умеренно континентальных лесов (сосна, ель, береза) и тепло-, влаголюбивых широколиственных древесных пород. Но в целом эти колебания происходили при лучшей тепло- и влагообеспеченности. Термический оптимум микулинского межледниковья был не только теплее, но и влажнее, чем в атлантическое время голоцена, которое является нашим ближайшим прошлым.

После микулинского межледниковья наступило последнее оледенение — валдайское (вюрм). В течение 50 000 лет с начала оледенения и до его максимума (20 000 лет назад) наблюдались многократные трансгрессивные и регрессивные перемещения края ледника, вызванные изменениями теплового режима поверхности Земли. Их характеризует температурная кривая для Центральной и Северной Европы (рис. 5). Важно отметить, что это оледенение делится на два периода. Первый был более продолжительным, но с меньшим

понижением температуры. Основной же вюрм — менее продолжительный, но с более низкой температурой. Нижний и основной вюрм разделены крупным межстадиалом. А. И. Москвитин считает это потепление столь значительным, что присваивает ему ранг межледниковья.

В ледниковые эпохи значительно усиливается планетарное похолодание, уменьшается увлажнение материков и увеличивается континентальность. Для всех межледниковых эпох, наоборот, характерно исчезновение ледниковых щитов на континентах и ледяного покрова на поверхности Полярного бассейна. Тепловой режим поверхности Земли в межледниковье становился более благоприятным, чем современный; снижались аридность и континентальность.

Плейстоцен как время наибольшей сухости четко проявил себя и на наиболее аридной территории СССР — территории среднеазиатских республик. Так, климат Каракумов и Кызылкумов еще в плиоцене, т. е. до низких температур плейстоцена, характеризовался большей суммой осадков и более высокой температурой зимой. В течение антропогена климат изменился в сторону дальнейшей аридности. Степь сменилась более сухой полупустыней, а местами стали развиваться песчаные пустыни современного типа.

Климаты близкого прошлого (20 000—100 лет назад)

К середине среднего голоцена широколиственные породы на территории Подмосковья достигли своего максимального распространения и обилия. Это было время голоценового «климатического оптимума». Климат характеризовался не только более высокой температурой, но и большей влажностью.

М. И. Нейштадт

Палеоклиматология в последние десятилетия получила могучие средства исследования — спорово-пыльцевой анализ и радиоуглеродный метод датировки. Первый позволяет надежно определять состав и экологические условия растительных сообществ минувших эпох, второй с достаточной точностью — датировать в абсолютном исчислении время этих эпох.

Применение новых средств исследований в послойном изучении континентальных отложений последних 20 000 лет открыло необычайно широкий и яркий спектр климатических изменений. Результаты этих исследований особенно ценны, так как они касаются времени, максимально близкого к нашему.

Рассмотрим изменения климата по следующим важнейшим этапам.

20 000 лет назад в Северном полушарии было сосредоточено 67% площади континентальных ледников земного шара. В наши дни — всего 16% (табл. 1). В то время европейский ледниковый покров занимал всю Скандинавию, Финляндию, Балтийское море, включая пролив Скагеррак. Его южный край перекрывал территорию Берлина, Плоцка (Польша) и близко подходил к Орше, Смоленску, Ржеву, Рыбинскому водохранилищу. Еще более обширным был Северо-Американский ледник. Он

покрывал всю северную часть континента. Его южный край приближался почти вплотную к территории городов Цинциннати, Питтсбурга и Нью-Йорка.

Таблица 1

Распределение континентальных льдов (млн. км²)

	20000—18000 лет назад	Современное
Северная Америка (включая Гренландию)	17,0	2,1
Европа	4,9	0,1
Азия	4,9	0,1
Южное полушарие в целом	13,3	12,6

За истекшие 20 000 лет площадь всех континентальных ледников в Северном полушарии сократилась на 24,5 млн. км², т. е. на 91%. Из оставшихся 2,3 млн. км² лишь один Гренландский ледник занимает почти 1,8 млн. км².

Современный объем континентальных льдов оценивается от 24—27 млн. км³. Если бы они полностью растаяли, уровень Мирового океана мог бы подняться по формальным расчетам на 65—70 м. Объем континентальных льдов в период максимума оледенения возрастал на 16 млн. км³, что понизило уровень океана на 45 м. Так как масса ледника Антарктиды реагирует на изменения климата крайне медленно (см. табл. 1), то мы вправе считать, что прирост льда шел главным образом на формирование континентальных ледников в Северном полушарии. В соответствии с этим средняя мощность ледяного покрова составляла 650 м. Максимальная мощность была примерно та же и в тех же областях, что и в период днепровского оледенения. На периферии мощность уменьшалась до нескольких десятков метров, а то и просто сходила на нет.

В центральной области оледенения температура льда, как показывают наши расчеты, была примерно —10° С, т. е. намного выше температуры льда Гренландии, которая равна —28°, а тем более Антарктиды с ее —50, —60°.

Столь высокая температура льда Центральной области имела существенное значение. Он как более теплый, естественно, реагировал на потепления и похолодания быстрее, чем ледяные щиты Гренландии и Антарктиды.

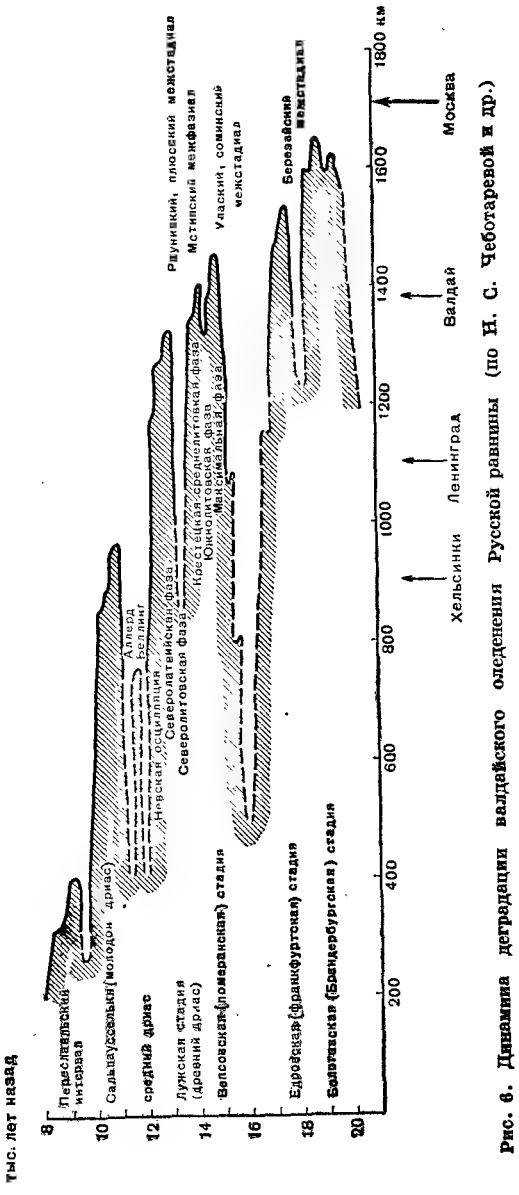


Рис. 6. Динамика деградации валдайского оледенения Русской равнины (по Н. С. Чеботаревой и др.)

Понижение уровня Мирового океана на 45 м вследствие увеличения материковых льдов вызвало осушение значительной части континентальных шельфов. Проливы Беринга, Чирикова, Шпанберга становились столь мелководными, что водообмен Полярного бассейна с Тихим океаном практически прекращался, а с ним прекращалась морская адвекция тепла из Тихого океана в Арктический бассейн.

18 000 лет назад началось потепление и связанное с ним отступание ледниковых покровов. Отступание не было монотонным. Оно прерывалось остановками в периоды спада потепления и надвигами на ранее освобожденные территории при похолодании (рис. 6).

Каковы же причины столь глубоких и относительно быстрых перемен в континентальных ледниковых покровах? Оказывается, достаточно незначительных, но устойчивых изменений в тепловом балансе поверхностного слоя океана, чтобы существенно повлиять на природные процессы. Это хорошо видно на примере с морскими льдами. Английский климатолог Ч. Брукс считает, что повышение температуры на поверхности Земли всего лишь на 1° С оказалось бы достаточным, чтобы привести весь ледяной покров Полярного бассейна в неустойчивое состояние.

Тепловые процессы особенно эффективны на границе таяния и замерзания воды. Фазовые преобразования (вода, снег, лед) в пределах одного градуса сопровождаются крупными изменениями в поглощении солнечной радиации морской поверхностью.

Подсчитано, что в результате уничтожения морских льдов на единице площади Полярного бассейна тепла солнечной радиации поглощается в восемь раз больше, чем это требуется для уменьшения мощности материковых льдов со скоростью 0,5 м в год.

За последние 18 000 лет особенно значительным было потепление в среднем голоцене. Оно охватывало время с 9000 до 2500 лет назад с кульминацией в период 6000—4000 лет назад, т. е. тогда, когда в Египте уже возводились первые пирамиды. Следует заметить, что время восходящей ветви потепления датируется по-разному: по Гроссу до 7500 лет назад, после чего началась фаза кульминации, продолжавшаяся до 4500 лет назад, а по данным М. А. Лавровой — до 6000 лет назад, вслед за

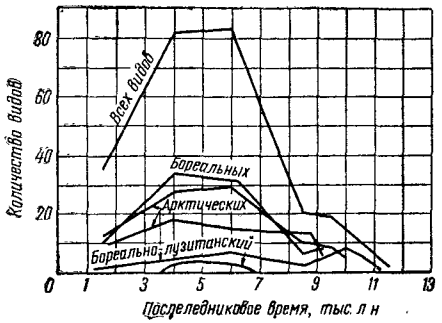


Рис. 7. Схема развития морской фауны в позднe- и послеледниковых морских отложениях Кольского полуострова (по М. А. Лавровой)

чем следовала фаза наиболее пышного расцвета морской жизни, продолжавшаяся до 4000 лет назад (рис. 7).

Наиболее волнующие вопросы рассматриваемого этапа — был ли Арктический бассейн безледным в период кульминации оптимума и какова была в связи с этим реакция климатических условий на континентах.

Многие ученые считают, что в период климатического оптимума Арктический бассейн был свободен от льда. Ч. Брукс свое утверждение о безледности Арктического бассейна обосновывает тем, что на Шпицбергене отсутствовали льды, была относительно богатая флора и обитали тепловодные моллюски, а также тем, что температура открытого Арктического бассейна и его побережий была выше современной. Повышение же температуры поверхностных вод и приземного слоя воздуха на 2—2,5° (что вполне достаточно для полной ликвидации дрейфующих льдов Полярного бассейна) хорошо доказано рядом независимых друг от друга исследований, проведенных по разной методике.

Вечная мерзлота на континентах, циркумполярно охватывающая Арктический бассейн, в период его потепления сильно деградировала. Так, на севере и северо-западе Сибири глубина протаивания достигала 200—300 м. Горные ледники значительно сокращались, а в ряде мест и вовсе исчезали.

Как же отреагировал климат на исчезновение льдов в Арктическом бассейне?

Растительные зоны циркумполярно продвинулись в сторону полюса. На евразийском континенте смещение

достигало 4—5° широты на западе и 1—2° на востоке. Отдельные растительные полосы передвинули свои северные границы на 1000 км. Леса вплотную подходили к побережью Баренцева моря, причем дуб, липа, орешник добрались до берегов Белого моря. Имеются данные, позволяющие считать, что на европейском материке зона тундр и лесотундр исчезала полностью. В северной части Азии остатки древесной растительности были обнаружены всего в 80 км от мыса Челюскин, на Новой Земле найдены торфяники. На Украине в условиях благоприятного, более влажного, чем теперь, климата впервые развивалось земледелие. Установлено, что Среднее Приднепровье сплошь покрылось лесом. Леса по долинам рек спускались до Черного, Азовского и Каспийского морей, причем на пространстве от Саратова до низовий Поволжья довольно густо распространились широколиственные породы. О благоприятных климатических условиях говорит также наличие у трипольских и нижнедунайских племен всех известных ныне основных зерновых культур, крупного и мелкого рогатого скота.

Ряд зарубежных исследователей — У. Фицджеральд, О. Бернар, Ф. Моретт, Р. Капо-Рей, Р. В. Фейербридж и др. — единодушно отмечают, что на гидрографии и растительности Сахары лежат явные отпечатки непостоянства климата. Везде видны безжизненные вади, высохшие озера, где, очевидно, совсем недавно была вода. Поразительный контраст между руинами поселений в Северной Африке и голым пейзажем, окружающим их ныне, говорит о недавней смене увлажнения.

Интересен тот факт, что в кайнозое наибольшей аридности и наибольшего распространения Сахара достигла именно в четвертичное время — в период наибольшего охлаждения нашей планеты, в том числе северных полярных широт.

Даже в позднеледниковое время, вследствие преобладания северо-восточных ветров, верховья Нила получали мало воды с Абиссинского плато. Нил не достигал Средиземного моря, как в наши дни река Эмба не достигает Каспия в засушливые сезоны. «Нынешний гидрографический режим Северо-Восточной Африки, — утверждает Фицджеральд, — возник не ранее конца последнего оледенения Северной Европы, вероятно, около 12 000 лет до н. э.», т. е. не ранее исчезновения основных масс льда

в северо-западной части Европы, падения ледовитости в Северном Ледовитом океане и повышения температуры поверхностных вод Северной Атлантики.

В период V—III тыс. до н. э. в различных пунктах Сахары, Аравийских и Нубийских пустынь отмечался значительно более влажный климат. Более широким было распространение человека и животных. Слон, гиппопотам и носорог исчезли в Сахаре в конце третьего тысячелетия до н. э. Дальнейшее иссушение Сахары повлекло за собой уход из нее кочевых племен.

Известный полярник В. Ю. Визе установил связь между снижением ледовитости Арктики и ростом уровня озер Африки, в том числе и озера Виктория, истока Нила. Связь настолько устойчива, что позволила автору сделать весьма любопытный вывод — человек, следящий за уровнем озер, может судить о состоянии льдов в Арктических морях.

Отсутствие льдов в Арктическом бассейне в период кульминации среднеголоценового оптимума благоприятно сказалось на климате всей планеты. По всей Европе, от Пиренейского полуострова до Волги, как уже отмечалось, преобладала лесная теплолюбивая растительность. Люди занимались рыболовством и охотой, развивалось мотыжное земледелие. В горах граница леса лежала выше, чем теперь. «Надо подчеркнуть, — писал К. К. Марков, — что после окончания ледникового времени в Средней и Северной Азии нет признаков систематического усыхания климата. После исчезновения последнего ледникового покрова на Русской равнине климат становится в общем более влажным»[1]. «Состояние растительности Средней Азии, — отмечал в свою очередь Е. П. Коровин, — в ближайшую после оледенения эпоху характеризуется прогрессивным развитием растительных формаций мезофильного склада. В связи с отступанием ледников, общим потеплением и увлажнением горного климата в пределы Средней Азии открылся доступ бореальной флоры, сложившейся в средних широтах Сибири вскоре после освобождения ее от покровного оледенения»[2].

---

[1] *К. К. Марков.* Происхождение современных географических ландшафтов. — Сб. «Вопросы географии», 1956.

[2] *Е. П. Коровин.* Исторический очерк развития растительности Средней Азии. — Сб. «Средняя Азия», М., Изд-во АН СССР, 1958.

На территории Внутренней Аляски и Юкона абсолютный возраст отложений торфа определяется 5 000 лет. На северо-западе Канады 64° 19′ северной широты и 102° 04′ западной долготы обнаружен роголистник в отложениях, возраст которых — 5400 лет. Северный предел современного распространения роголистника достигает лишь 59° 14′ северной широты. На восточном склоне Скалистых гор Колорадо возраст торфа, залегающего на отложениях последнего оледенения, 6170±240 лет. В бассейне озера Мичиган 3000 лет назад климат был теплее и влажнее, чем в настоящее время.

В районе озер Сан-Рафаэль (Южное Чили) климатические изменения позднего плейстоцена хронологически совпадают с колебаниями климата, установленными в других областях Южного полушария (Огненная Земля, Патагония, Тристан-да-Кунья, Новая Зеландия, Гавайские острова). В Андах (39° южной широты) климат межледниковья был влажнее современного; основные волны климатических изменений синхронны в обоих полушариях. Сухие периоды Огненной Земли и Патагонии синхронны бореальному, суббореальному и современному периодам Европы. В Австралии и Новой Зеландии население занималось земледелием. Южно-Африканская пустыня Калахари 6000—7000 лет назад отличалась более влажным климатом, чем в наше время.

Угасание кульминации климатического оптимума среднего голоцена началось 4000 лет назад. Примерно 3000 лет назад началось восстановление ледяного покрова Арктического бассейна.

Время 2500 лет назад является по схеме расчленения голоцена М. И. Нейштадта рубежом между средним и поздним голоценом. С этого времени фиксируется более интенсивное похолодание. Однако, спустя примерно тысячу лет, несколько позднее 500 г. н. э. началось новое потепление и, как установил Брукс, «Арктические льды вступили в стадию полуустойчивого существования». Эта стадия господствовала примерно до 1200 г. Полуустойчивость же арктических льдов Брукс характеризует как состояние, когда они полностью исчезают летом и восстанавливаются зимой в незначительном объеме.

В таком состоянии площадь морских дрейфующих льдов Южного полушария в холодное время года достигает 22 млн. км², в феврале она сокращается до 4—6 млн. км²,

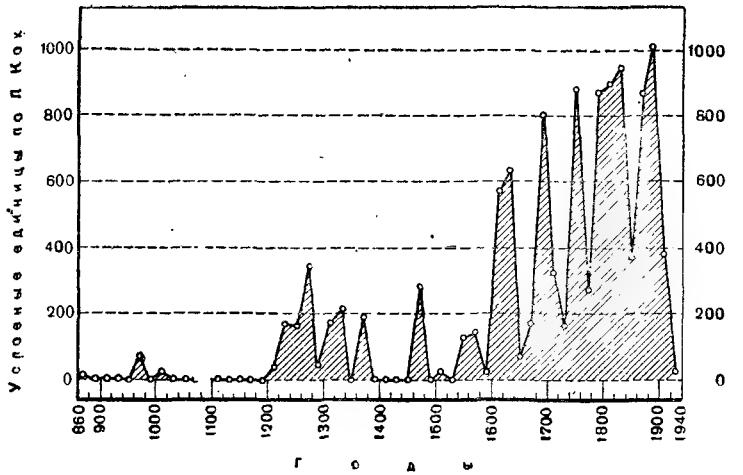


Рис. 8. Вековые колебания ледовитости прилежащего к Исландии района Атлантического океана с 860 по 1940 г. (по Л. Коху)

т. е. на 80%. В Северном Ледовитом океане общая площадь дрейфующих льдов зимой достигает 11 млн км², а летом к концу таяния она может снижаться до 7 млн км², т. е. на одну треть. Если же в баланс дрейфующих льдов Северного полушария включить полностью исчезающие летом льды Берингова и Охотского морей и объем льда, стаивающего с ледяного покрова Северного Ледовитого океана примерно на 20%, то можно убедиться, что объем морских льдов в северных широтах к концу лета вдвое меньше, чем в конце зимы.

По более поздним данным В. С. Назарова, ежегодное нарастание и таяние морских льдов в целом на земном шаре составляет 37 000 км³ при ежегодном переходящем остатке 19 500 км³. Иначе говоря, ежегодно 67% морских льдов на нашей планете обновляются. Следовательно, если морские льды неустойчивы в настоящее время, то они тем более неустойчивы были в раннем средневековье, когда летние температуры на 1—2° превышали современные.

Л. Кох исследовал динамику ледовитости Северной Атлантики на протяжении последнего тесячелетия. Результаты исследований представлены на рис. 8. Малая

ледовитость высоких широт снижала силу штормов и число штормовых дней. Астурийские рыбаки того времени могли заниматься там китобойным промыслом.

Снизилась ледовитость и в антарктических полярных широтах. Еще в середине VII в. н. э. полинезийцы, в в частности Ви-Те-Ренгина, плавали в антарктических водах, несмотря на примитивность корабельной и навигационной техники того времени. Вместе с тем в годы плавания Дж. Кука (1772—1775) ледовитость, судя по его описанию и его спутников, существенно превышала современную.

В районе Исландии и Южной Гренландии с 900 по 1200 г. климат был мягче; морских льдов в этих районах не наблюдалось. На юго-западе Гренландии существовали скандинавские колонии с поразительно высоким уровнем скотоводства. При раскопках кладбища близ мыса Фаруэл, расположенного в современной зоне вечной мерзлоты, археологи установили, что в то время, когда производили захоронения, мерзлота летом должна была оттаивать, поскольку гробы, саваны и даже трупы пронизывались корнями растений. В более ранний период грунт должен был оттаивать на значительную глубину, поскольку при самых древних захоронениях гробы опускались сравнительно глубоко. В дальнейшем эти горизонты оказались в зоне вечной мерзлоты, и более поздние погребения располагались все ближе и ближе к поверхности.

В Альпах ледники сильно сокращались. По данным итальянских ученых, с VIII до XIII в. климат более благоприятствовал земледелию, чем с XIII до середины XVI в., когда засухи повторялись чаще. Это относится и к нашему лесостепному югу, где в IX—X вв. крупные цветущие города, пашенное земледелие с плугом «рало», почти все известные нам виды домашнего скота свидетельствуют о высоком уровне развития Киевской Руси.

На территории современной Татарской АССР в X в. Ибн-Фадлан наблюдал у болгар, занимавших эту территорию, развитое земледелие с возделыванием пшеницы. Возделывали пшеницу и другие народы, входившие в состав Волжской Болгарии. Это подтверждают и русские летописи. С другой стороны, точно известно, что с XIV по XIX в. пшеницу на этой территории не сеяли из-за суровости климата.

Большое количество исторических и археологических свидетельств показывает, что в Средней Азии в VIII—XII вв. увлажнение было достаточным, чтобы занять поливной земледельческой культурой почти все междуречье Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. По словам арабских историков, кошка могла пробежать от Самарканда до Аральского моря по крышам домов. Не только пустыни Средней Азии, но даже величайшая на Земле пустыня Сахара реагировала на уменьшение ледовитости в Арктическом бассейне некоторым снижением своей аридности.

С XIII в. н. э. вновь возникает похолодание. Наиболее полно оно проявилось в период 1550—1850 гг. В это трехсотлетие более частыми становятся суровые зимы. Разрослись горные ледники Скандинавии, Альп, Исландии, Аляски. В ряде районов они перекрыли поселения и культурные земли. По данным П. А. Шумского, в XVIII—XIX вв. продвижение ледников местами достигало «максимальных размеров со времени последней ледниковой эпохи. . .»

Паковый лед, поступающий в Гренландское и Норвежское моря из Арктического бассейна, таял более медленно, что сказалось на ледяной блокаде Гренландии. Гренландские колонии, основанные в X в. и процветавшие до блокады, начали терять связь с метрополией, приходить в упадок и в середине XIV в. прекратили свое существование.

Несмотря на некоторые периоды потепления и связанного с этим отступания ледников, в целом рассматриваемый период был настолько холодным, что получил наименование «Малой ледниковой эпохи». Высокие широты были выхоложены, ледовитость полярных морей возросла. В Северной Атлантике морские льды достигали за послеледниковое время своего наибольшего развития, например в годы с 1806 до 1812 кораблям редко удавалось проникнуть выше 75° северной широты.

Радиоуглеродные исследования растительных остатков, взятых из-под 47-метровой толщи льда в северо-западной Гренландии, показали, что, меньше чем 200 лет тому назад, ледники этого района продолжали энергично наступать. В кульминацию похолодания снеговая граница снижалась до уровня моря, что, естественно, создавало благоприятные условия для возрождения лед-

никовых покровов, исчезнувших в предшествующий теплый период.

Во времена дрейфа «Фрама» условия для образования более сплоченного и более мощного ледяного покрова были благоприятнее, чем сейчас. Исследователи Арктики в прошлом часто сообщали о мощных 4—6-метровых «палеокристаллических» дрейфующих льдах. В наши дни встреча с такими льдами — явление редкое, так как они — продукт более холодного климата.

Высокая ледовитость Полярного бассейна всегда порождала беспокойный режим атмосферы. Его прямым следствием были неурожайные голодные годы, частота которых заметно увеличивалась.

Современное потепление Арктики (100 лет назад — наше время)

В какие-нибудь полтора десятка лет и даже еще более короткий промежуток времени произошло такое изменение в распределении представителей морской фауны, какое связывается обыкновенно с представлениями о долгих геологических промежутках времени.

Н. М. Книпович

Сто лет назад, со второй половины прошлого века началось новое потепление климата. Оно было слабым, вначале даже совсем незначительным, затем медленно усиливалось и в 30-х годах нашего века достигло своей кульминации. В среднем по всей Земле потепление составило 0,6° С. Потепление это не было равномерным. Наибольшим оно было в приатлантическом секторе Арктики, наименьшим — в притихоокеанском (рис. 9).

Ледовый покров в Арктике стал меньше и по площади и по мощности.

Норвежский «Фрам» в 1893—1896 гг. дрейфовал при толщине льдов 3,56 м, а наш «Георгий Седов» в 1938—1940 гг. был вмаян в льды, толщина которых составляла 2,18 м, несмотря на то, что он дрейфовал несколько севернее «Фрама». Общая же площадь льдов сократилась на 1 млн. км^2. Другими словами, масса дрейфующего льда в Арктическом бассейне примерно за 40 лет, в течение которых были, конечно, и аномально холодные годы, снизилась вдвое.

Вследствие усиления циркуляции атмосферы и океанических вод из Арктического бассейна льды выносились в Атлантику значительно быстрее, чем прежде. «Георгий Седов» дрейфовал с востока на запад в два раза быстрее, чем «Фрам».

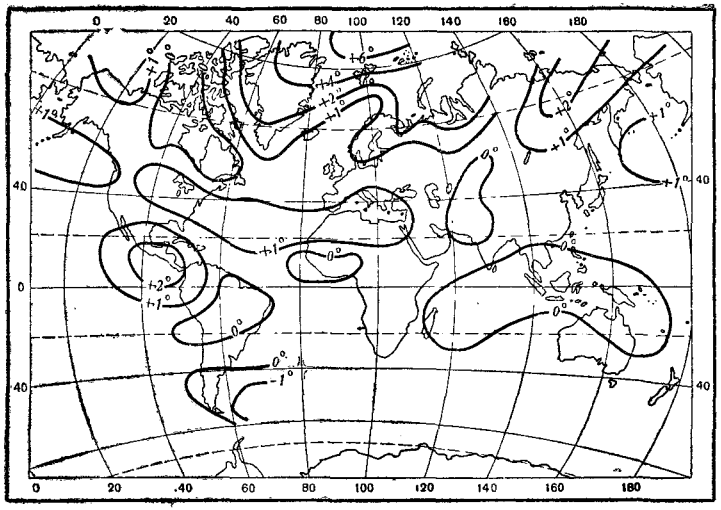


Рис. 9. Изменения среднегодовых температур (°Ф) с 1920 по 1940 г. (по Уиллетту)

Изменилось само лицо Арктического бассейна. Ледовый пейзаж стал выглядеть по-другому. Ледяной покров чаще протаивал насквозь. Летом среди дрейфующих льдов, какими бы мощными и торосистыми они ни были, появлялось больше разводьев. «Полярный блин» представлял собой мозаику из пятен паковых льдов, более молодых льдов и пространств чистой воды. Почти полностью исчез околоматериковый «палеокристаллический» лед, мощность которого в прошлом достигала 6 м.

После 1920 г. пролив Югорский Шар замерзал на два месяца позже, чем обычно, а бухта Святого Михаила, расположенная немного севернее реки Юкона, на месяц позже.

Сильно расширился навигационный период в Гренландском море. Если в 1900-х годах уголь с Западного Шпицбергена можно было вывозить только в течение трех месяцев, то в 1940-х годах — за семь. Вокруг Шпицбергена плавали девять месяцев.

В 1901 г. ледокол «Ермак» не мог дойти до мыса Желания, а в 1935 г. «Садко» прошел по чистой воде до северной оконечности Северной Земли и углубился на северо-восток на 1000 км, достигнув 84° 41′ северной широты.

В 1938 г. «Ермак» установил мировой рекорд свободного плавания в Арктике, когда в секторе Новосибирских островов достиг района, удаленного от полюса лишь на 700 км.

Потеплели воды и в Северной Атлантике, и в северной части Тихого океана. А вслед за теплом в высокие широты стала подниматься и рыба. Если в 1908—1909 гг. треска в заметных количествах ловилась только у южной оконечности Гренландии, то в 1920—1930 гг. ее начали промышлять и у Шпицбергена. Потянулись к северу сельдь, сардины, кефаль и другие рыбы.

Повышение температуры воздуха было особенно заметно в высоких широтах и в зимнее время. Среднегодовая температура за 40 с лишним лет между дрейфами «Фрама» и «Георгия Седова» повысилась на 3,9°, декабрьская — на 9,4°, а летняя же почти не изменилась.

Это современное уже нам потепление Арктики, несмотря на малую длительность, сказалось и в Южном полушарии. Айсберги в Антарктиде сократили радиус своего путешествия примерно на 1200 км. Подверглись разрушению некоторые шельфовые [1] ледники. За последние 50 лет в отдельных местах, правда, незначительно, но все же отступил край ледяного покрова. В области же тропических широт потепление это ощущалось очень слабо.

Зато на влажность в пределах 50° северной широты потепление повлияло заметно. В Берлине, Ленинграде, Архангельске, Москве, Киеве, Сургуте, Свердловске, Иркутске в летний период осадков выпадало выше многолетней средней нормы. С уменьшением ледовитости Баренцева моря отмечено некоторое улучшение увлажненности Средней Азии. Та же связь вскрыта для Украины и Поволжья. Замечено также, что при потеплении Арктики несколько повышался уровень озер Западной Сибири, Казахстана, Кавказа, Ирана, Малой Азии, Пакистана, Центральной Азии. По данным зарубежных исследователей, количество осадков возросло на Шпицбергене, в Англии, Испании, Франции, Швейцарии, Западной Германии, Японии, Такубае (Центральная Мексика), Коломбо (Цейлон), в Сан-Сальвадоре, Австралии и т. д.

[1] Шельфовые ледники, обширная пакообразная (мощностью 300—350 м) масса льда — продолжение материкового ледникового щита, — расположенная в зоне материковой отмели (шельфа).

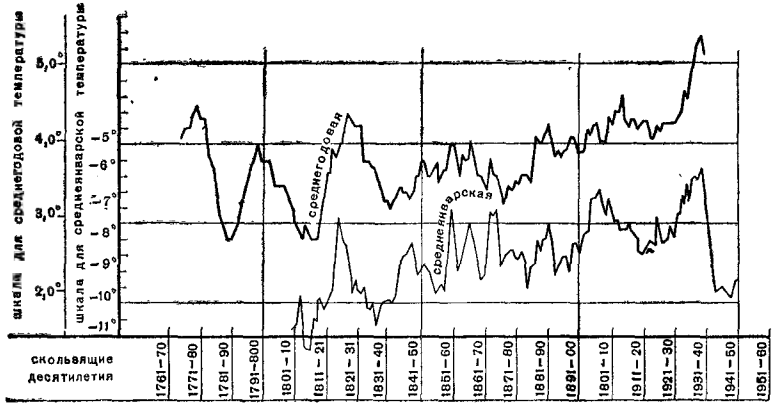


Рис. 10. Вековой ход среднегодовой и среднеянварской температуры в Ленинграде

Словом, на материках прибавились и тепло и влага. И естественно, что растительный и животный мир Земли чутко отреагировал на эту «прибавку».

Как уже говорилось, переохлажденная Арктика всегда отрицательно сказывается на урожайности. За время же потепления, когда заметно снизился объем дрейфующих льдов в Арктике, реже стали и засушливые годы. За 36-летний период (с 1922 по 1957 г.) было 14 засушливых лет, т. е. на 39% или на $^1/_3$ меньше, чем за предыдущий 33-летний период с 1889 по 1921 г.

В Западной Сибири засухе, как правило, предшествуют особенно суровые зимы. Почва сильно охлаждается и глубоко промерзает. Глубокое промерзание снижает проникновение талых вод в почву при весеннем снеготаянии. На первый взгляд кажется, что, наоборот, — воды много, она обильно сбегает с полей. Но в том-то и дело, что сбегает. Промерзшая почва не пропускает ее вглубь, не задерживает, и вода уходит с полей без пользы.

Надо сказать, что в конце XVIII в. почти подряд прошло пять засушливых лет. И оказалось, что именно эти годы (по Ленинграду) были самыми холодными за большой, почти 200-летний период инструментальных наблюдений (рис. 10). Засушливые годы в XIX в. тоже совпадают с низкими температурами по Ленинграду.

С потеплением в Арктике растительная зона начала циркумполярно смещаться в сторону полюса, чутко отреагировав на зов тепла. Так, на территории Большеземельской тундры северная граница леса продвигалась в верхние широты со скоростью 0,5—0,7 км в год, тогда как в 30-х и 40-х годах прошлого столетия эти же леса из-за холодов обнаруживали явные признаки деградации. Продвижение лесов к северу отмечается в Скандинавии, в Западно-Сибирской низменности, Аляске, Лабрадоре. В ряде областей ареал растительности и животного мира переместился в сторону полюса на 200 км и более. На Енисее и Лене начали гнездоваться птицы, которые раньше гнездовались только южнее.

Улучшились климатические условия и на южных территориях СССР. Теплее стали зимы в Бурятской АССР, тоньше лед на Байкале. На севере Монголии, где лес находится на южном пределе своего распространения, быстро восстановились леса лиственницы и сосны. Наблюдается наступание молодого леса на степь. В Гоби возобновляется и растет молодняк разнолистного тополя и пустынного гобийского ильма. В Узбекистане в период наибольшего потепления Арктики успешно развивается основная техническая культура — хлопчатник.

На территории других стран также расширились обрабатываемые площади и увеличился сбор зерновых культур. В Канаде граница земледелия переместилась на север от 100 до 200 км. В Швеции, Норвегии и Финляндии благодаря потеплению начали культивировать овощи, ранее казавшиеся недоступными для климатических условий этих стран. В горных районах Италии бук продвинулся на более высокие отметки. Больше появилось перелетных птиц в Исландии и Гренландии, а в Европе хорек и заяц отреагировали на тепло тем, что расширили свои владения на 600—700 км в сторону полюса.

Да и хозяйственная деятельность человека активизировалась, потому что ослабло сопротивление холода. Увеличился срок навигации. На Западной Двине — на 17 дней, на Неве — на три недели. Лена близ Якутска стала вскрываться на 4 дня раньше, чем обычно.

Начали деградировать многолетние мерзлые толщи. Деградация четко наблюдалась в области Северного Урала, Лены, Яны и в других районах. Надо ли говорить, какое значение это имеет для строительства и промышленности!

Повсеместно отмечалось отступание материковых льдов, причем в обоих полушариях. Площадь оледенения Швейцарских Альп за 50 лет (с 1890 по 1940 г.) уменьшилась на 25%. Отступали ледники Исландии, Швеции, Норвегии. Даже под экватором — на вершинах Килиманджаро, Рувензори и др. — наблюдается сокращение ледников. В Гренландии ледяной покров местами отступил настолько, что обнажил земли, которые в XII в. были заняты поселениями и могильниками норманских колонистов. В Исландии освободились от надвига льдов земли, которые возделывались 600 лет назад. Та же картина наблюдается и на Скандинавском полуострове. Повсеместно отмечено повышение снеговой линии. Так, в горах северной части Перу она поднялась на 900 м.

В годы наиболее сильного потепления возникло предположение, что недалеко то время, когда Арктический бассейн полностью освободится от дрейфующих льдов. Но. . . начиная с зимы 1939—1940 гг. возобновилось медленное похолодание. Примерно за 25 последующих лет среднее понижение температуры по всей поверхности Земли составило 0,2° С. Отмечено повышение ледовитости в Арктическом бассейне и рост горных оледенений.

*

Итак, на протяжении кайнозойской истории Земли происходило ухудшение климата. Совершенно очевидно обнаруживается важнейшая параллель — на всех широтах, от полярных до тропических по обеим сторонам экватора, при понижении температурного режима земной поверхности ухудшаются экологические условия, т. е. условия среды обитания растительности и животного мира. Здесь важно подчеркнуть, что наибольшее похолодание за всю последнюю 200-миллионную, а возможно, и всю геологическую историю Земли — произошло всего лишь 18000—20000 лет назад, во время последнего этапа так называемого валдайского оледенения. Поразительная близость к нашим дням очень крупных, а в отдельных случаях даже максимальных колебаний климата поможет выявить причины и закономерности их в прошлом.

Причины изменения климата

Надо прежде всего проанализировать изменение географических особенностей самой земной поверхности, а не торопиться прибегать к астрономическим и космическим гипотезам.

К. К. Марков

В 1841 г. швейцарский естествоиспытатель Рудольф Агассис высказал смелое соображение о том, что Шотландию когда-то покрывал мощный слой льда. Соображение это было встречено едкими насмешками, и понадобилось еще 20 лет, чтобы подтвердилась гипотеза о былом оледенении. Уже свыше 100 лет ученые упорно ищут причины, которые в какой-либо мере могли влиять на формирование и трансформацию климата Земли. Диапазон догадок, версий, гипотез огромен: от космических катастроф до. . . окурка, брошенного в лесах Сибири или Канады. Да, окурок!.. Окурок поджег лес. Тучи дыма разрастающегося пожара могли уменьшить поступление солнечной радиации на поверхность Земли, в том числе и на поверхность Полярного бассейна. Не получив должного тепла от солнца, поверхностный слой начал бы терять тепло, температура бы падала, а затем — замерзание, и наконец, через механизм самоохлаждения и саморазрастания (механизм этот мы разберем несколько позже) и произошло оледенение континентов.

Некоторые исследователи ищут причины изменения климата вне Земли, во главу угла они ставят космические и астрономические условия. Часть исследователей связывает изменение климата с изменениями элементов вращения Земли, а в том числе с перемещением оси вра-

щения внутри планеты, с наклоном к плоскости эклиптики, другие с изменениями очертаний материков и океанов, в рельефе суши и дна, в составе атмосферы, в солнечном излучении, и т. д. Но редко кто из авторов проверял реальность собственных гипотез расчетом и мерой. Конечно, в каждой из гипотез для частного случая есть своя степень вероятности и реальности. Но ни одна из них не могла объяснить конкретное разнообразие климатических изменений, которые наблюдались за время кайнозойской истории нашей планеты: то длительное, в десятки миллионов лет, необычайно медленное понижение температуры, как это имело место в начале кайнозоя, то поразительно частая, почти лихорадочная трансформация климата, когда на протяжении одного-двух тысячелетий, а иногда всего лишь нескольких столетий, зимняя температура в северных полярных широтах делала скачки в несколько десятков градусов, как это наблюдалось в конце четвертичного периода в северных полярных широтах.

Новейшие исследования показали, что в антропогене на последних его этапах изменения климата были особенно часты. Сейчас уже оставлена теория однократного оледенения — моногляциализма, имевшая в прошлом немало сторонников. До начала XX в. считалось, что после схода последнего ледника климат не изменялся и только в 1910 г. стало известно о крупном и длительном изменении климата в среднем голоцене; оно было столь значительным, что его можно приравнять к межледниковью. Изотопные методы позволили американскому ученому Ч. Эмилиани установить в 1955 г., что в течение антропогена произошло 15 крупномасштабных изменений климата. Последние годы принесли новые доказательства и открытия ранее неизвестных крупных потеплений и похолоданий за последние 100 000 лет.

Эти открытия лишили прежние космические, астрономические, тектонические и другие гипотезы убедительности, хотя нельзя отрицать, что каждый из факторов этих гипотез, вполне возможно, при определенных условиях и в определенное время влиял на изменение климата. Во всяком случае эти гипотезы не в состоянии объяснить те удивительно быстрые и разнонаправленные трансформации планетарного климата, которые произошли за последние 20 000 лет, не говоря уже о более много-

численных изменениях в течение антропогена. Поэтому ученые продолжают искать и изучать механизмы, которые могут управлять изменениями климата. Для этой цели привлекаются самые разнохарактерные материалы: геологии, палеогеографии, геофизики, палеонтологии, археологии, древней и средней истории. В течение длительного ряда лет тщательно ведутся круглосуточные инструментальные наблюдения над природными процессами в атмосфере и Мировом океане. Ученые объединены в крупные международные коллективы, подобно сложившимся за время Международного геофизического года, Международного геофизического сотрудничества и других международных исследовательских организаций.

Обширный научный материал позволяет объяснить изменения климата от начала мел-палеогенового оптимума до последних его колебаний в наши дни без привлечения внеземных факторов, а только действием двух механизмов, заключенных в атмосферной и гидросферной оболочках Земли, и состоянием ее поверхности. Один из этих механизмов на протяжении всего кайнозоя вызывал и продолжает вызывать медленную и однозначную депрессию планетарного климата, с которой связано и понижение температуры глубинных вод Мирового океана. Второй механизм, наслаиваясь на действия первого, определил те частые и разнонаправленные изменения, которые происходили и происходят в четвертичном периоде.

Проследим, как происходило и распространялось охлаждение Земли с третичного периода, т. е. за последние примерно 70 млн. лет.

Для этого нам надо опуститься на дно Мирового океана. Дно океана только нагревает покрывающие его воды, но не охлаждает их. Тем не менее глубинные воды в это время охлаждались. Холод, следовательно, шел с поверхности, а не с глубины. Поверхностные воды, опускаясь на дно, приносили сюда холод, холод этот гасил тепловой поток, идущий от дна, и формировал холодные глубинные горизонты.

Как же происходит этот перенос холода с поверхности на дно?

Известно, что пресная вода с понижением температуры повышает свою плотность, но только до 4°. При дальнейшем понижении температуры плотность воды тоже понижается. Иначе говоря, своей наибольшей плотности прес-

ная вода достигает при 4° С. На поверхности водоема она может замерзнуть, как ей и положено, при 0°, а на нижних горизонтах она будет сохранять положительную температуру 4°.

С морской водой дело обстоит по-другому. Плотность морской воды с ростом растворенных в ней солей всегда увеличивается, а точка замерзания понижается, т. е. заморозить морскую воду несколько труднее, чем пресную. Если для пресной воды, чтобы замерзнуть, достаточно 0°, то для Мирового океана при средней солености 35‰ (35 г солей на килограмм воды) нужно —1,91°. Следовательно, поверхностные воды способны охлаждать глубинные воды океана почти до —2°.

Табл. 2 дает представление о том, как охлаждались глубинные воды за последние 75 млн. лет.

Таблица 2

Температура придонных вод Мирового океана в далеком и близком прошлом

Эпоха	Примерный возраст, млн. лет	Температура, (±0,5), °С	Примерная скорость охлаждения за 10 млн. лет, °С
Верхняя меловая	75	14,0	
Средний олигоцен	35	10,4	0,9
Нижний и средний миоцен	15	7,0	1,7
Верхний плиоцен	1	2,2	3,4
Современная	0	1,8	4,0

Рядом исследований доказано, что в кайнозойскую эру все континенты и ось вращения Земли занимали то же положение, что и ныне. Следовательно, современные полярные широты и тогда были наиболее холодными. Но Антарктика была холоднее Арктики, так как в центре Антарктики расположен крупный материк Антарктида, а в центре Арктики крупный Полярный бассейн, имевший хороший водообмен, а следовательно, и теплообмен с теплыми тропическими бассейнами (см. рис. 2). Вот почему в мел-палеогеновый оптимум растительный мир северных полярных широт был значительно богаче и более теплолюбив, чем мир южных широт.

В эпоху верхнего мела (примерно 75 млн. лет назад) температура поверхностных вод Арктического бассейна была равна температуре глубинных вод близ экватора,

т. е. 14° С. Следовательно, охлаждение этих глубинных вод происходило за счет полярных вод Южного полушария. То, что дело обстояло именно так, доказали и последние исследования донных отложений в Антарктике. Порожденные айсбергами осадки имеют настолько древнее происхождение, что о «вине» Арктики и речи быть не может, поскольку Арктика в те времена не имела ледяного покрова. Ее «алиби» доказано. Лед мог существовать только в Антарктиде. Начало же оледенения Антарктики относится к эоцену (примерно 60 млн. лет назад), а может быть и раньше. Во всяком случае похолодание отмечено еще в меловое время. Геологические данные свидетельствуют о том, что начиная с мелового времени, вплоть до последнего этапа кайнозоя, подъем суши преобладал над опусканием, вследствие чего увеличились материковые пространства и поднялись над поверхностью океана. Хотя за это время трансгрессии моря сменялись регрессиями, а последние в свою очередь новыми трансгрессиями, однако последние обычно не достигали размеров предыдущих. Подъем и разрастание континентов постепенно ухудшали водообмен между полярными и экваториальными акваториями, а с ними и морскую адвекцию тепла, поэтому нарастала тепловая изоляция полярных широт.

Вместе с подъемом Антарктиды относительно окружающих ее в то время теплых вод Южного океана росло количество осадков, выпадавших зимой в твердом виде. Постепенно их объем стал превышать объем таяния за летний сезон. Происходило накопление твердых осадков, которое со временем достигло своей критической стадии, после чего процесс стал необратим — и материк был погребен под ледяным панцирем. Панцирь, покрытый снегом почти полностью, отражал солнечную радиацию, отчего происходили огромные потери тепла. Приледный слой воздуха охлаждался и обезвоживался. Он становился более прозрачным для инфракрасного излучения земной поверхности. Тепловой баланс становился отрицательным. Происходило глубокое самоохлаждение.

Одна беда рождала другую. Чем больше разрастался ледяной покров Антарктиды, тем хуже становились радиационные условия, а чем хуже становились радиационные условия, тем легче происходило наращивание ледяной толщи. Холод, порождаемый Антарктидой, начал растекаться по всему земному шару. Охлаждались окружающие

ее океанические воды. Охлаждение увеличивало их плотность. И чем плотнее они становились, тем больше их опускалось по материковому склону. Накопившиеся придонные холодные воды стали распространяться к северу, что охлаждало глубинные воды Мирового океана на всех широтах.

В нарастании скорости охлаждения поверхности Земли и глубинных вод принимала участие и Арктика. Об этом свидетельствуют палеогеографические и геологические данные. Вследствие преобладания подъема континентов над опусканием в эоцене осушается пролив через Северо-Американский континент, что сокращает поступление тепла к Северному полюсу. Еще большее сокращение наступает в олигоцене, когда осушается Западно-Сибирский пролив, соединявший Арктический бассейн с теплым Индийским океаном (см. рис. 2). Параллельно с охлаждением Арктического бассейна охлаждалась и воздушная оболочка Земли. В Северном полушарии границы тепла начали циркумполярно смещаться с севера на юг.

В миоцене произошла та консолидация континентов, которая определила современное очертание Мирового океана. Для водообмена Арктического бассейна эти «новшества» были неблагоприятны. Его связь с южными бассейнами сократилась еще больше, а вместе с тем и усилилось охлаждение. Из жертвы Арктический бассейн превращается в виновника. Он сам становится источником охлаждения воздушных масс, проходящих над ним, и он же начинает питать холодными водами Мировой океан. «Вступила в игру» и Гренландия. Она оледенела и тоже стала добавочным источником холода. Однако за Антарктидой по-прежнему сохраняется превалирующая роль в охлаждении земной поверхности.

Климат деградирует со все большей скоростью. Скорость удваивается. Если поначалу понадобилось 40 млн. лет, чтобы температура глубинных вод упала на 3,6°, то на дальнейшее понижение в 3,4° ушло только 20 млн. лет.

Говорят, что климаты миоцена отличались от современных потому, что тогда были другие очертания материков. Поэтому полезно подчеркнуть: в миоцене берега Мирового океана и континентов достигли современной конфигурации, а потому последующие изменения климата

не могут объясняться изменениями очертаний материков.

В **плиоцене** очертание Мирового океана существенно не изменялось. Однако подъем континентов продолжал преобладать над их опусканием. Изменялся их рельеф, а возможно, и дна океана.

С ростом вертикальных отметок суши происходило дальнейшее охлаждение. Оно заметно возрастало, когда отметки становились существенно выше нижней границы хионосферы [1]. В этих условиях возникали центры нового горного оледенения, которые способствовали общему разрастанию снежников, фирновых полей и ледников, а с ними и общему дополнительному похолоданию.

Температура придонных вод у экватора упала в верхнем плиоцене до 2,2°. По сравнению с предыдущим олигоцен-миоценовым интервалом в миоцен-плиоценовый период скорость охлаждения снова удвоилась. К концу плиоцена параллельность падения температур приземного слоя воздуха и глубинных вод нарушается. Температура первого падает быстрее, что объясняется большой термической инерцией глубинных вод и определенной безынерционностью воздушных масс. Это различие возрастает с ростом скорости охлаждения, а главное, как в данном случае, по мере сближения температуры поверхностных вод полярных бассейнов с температурой их замерзания.

Верхняя кривая рис. 3 показывает, что в конце плиоцена понижение температуры не было непрерывным. Оно нарушалось потеплениями. Это позволяет заключить, что на ранее действующий механизм, определявший с начала кайнозоя медленное непрерывное похолодание климата, накладывалось действие второго механизма, способного вызвать разнонаправленные изменения в температуре приземного слоя атмосферы, а следовательно, и климата. Действие второго механизма с особой четкостью проявилось в **четвертичном периоде—антропогене**.

Как же это могло произойти?

Известно, что в жидком состоянии вода хорошо поглощает тепло солнечной радиации, а лед и снег, наоборот,

[1] Хионосфера — слой атмосферы, внутри которого возможен постоянный положительный баланс твердых атмосферных осадков. Нижняя граница хионосферы при пересечении с горными хребтами образует снеговую линию.

с наибольшей силой отражают ее и как бы отвергают таким образом то тепло, которое она приносит. Следовательно, от того, будет ли морская поверхность находиться в жидком состоянии или, наоборот, превратится в лед, зависит — станет ли она собирать тепло или будет источать холод. Представим себе десятки миллионов квадратных километров, которые на земном шаре занимает морская поверхность, способная изменять свое состояние, и мы поймем, каким могучим климатическим фактором планетарной значимости она является.

Известно также, какого незначительного изменения температуры достаточно, чтобы вода замерзла или, напротив, растаяла. Чуть больше или чуть меньше критической точки (0° — для пресной и —1,9° — для соленой морской воды) — и перед нами либо влага, либо лед. Потому-то незначительные, но длительные изменения в переносе тепла в гидросфере и атмосфере могут вызвать и вызывали непропорционально большие по амплитуде изменения теплового режима на поверхности Земли.

Английский ученый Брукс рассчитал, насколько глубоко самоохлаждается поверхность Полярного бассейна в случае, если на ней возникнет лед. Допустим, что бассейн свободен ото льда, и только в самом холодном зимнем месяце его поверхностные воды имеют температуру, близкую к замерзанию. Тогда достаточно незначительного первоначального охлаждения, всего несколько десятых долей градуса, как начнется зарождение ледяного покрова, а вслед за ним — дальнейшее понижение температуры на 28°. И все это без вмешательства посторонних факторов! Одна—три десятых градуса — в обычных условиях величина практически неощутимая, в роковом же соседстве с критической точкой она способна сыграть колоссальную роль. Брукс пишет: «Подобный результат весьма облегчает объяснение наличия теплых климатов полярных областей. Вместо того чтобы объяснять температурные изменения порядка 28° С, нам достаточно найти причину для начального изменения порядка 0,3°, поскольку остальные 27,7° вполне могут быть отнесены за счет влияния плавучих льдов»[1].

Ледяной покров охлаждает находящийся над ним воздух до тех же —28°; охлажденный и более плотный воздух

[1] *Ч. Брукс.* Климаты прошлого. М., ИЛ, 1952.

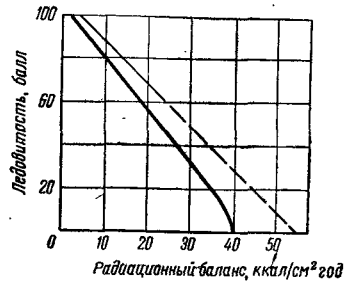


Рис. 11. Зависимость радиационного баланса от ледовитости морской поверхности Центрального Арктического бассейна
— — по В. Л. Гаевскому;
- - - — экстраполяция;
— — принято в расчетах

растекается за пределы ледяной кромки; здесь он встречается с чистой водой, охлаждает ее и замораживает. Реакция разрастания ледяного покрова приобретает цепной характер. И наоборот, когда адвекция тепла в Арктический бассейн возрастает, температурные эволюции начинают происходить в обратном направлении. Крупные температурные амплитуды антропогена были, возможно, именно потому, что фазовая изменчивость (фаза льда, фаза воды) поверхностного слоя океана способна породить значительные изменения в тепловом балансе. Сокращение ледяного массива усиливает власть солнечной радиации. В полярных широтах альбедо поверхности может меняться от 90% и выше (вода) до 9% и ниже (лед). Падение альбедо в 10 раз увеличивает радиационный баланс в Арктическом бассейне от 4 ккал/см²·год в современных условиях 10-балльного льда до 50 ккал/см²·год при полной безледности (табл. 3, рис. 11).

Из таблицы виден стремительный рост радиационного баланса. На каждые 10% снижения ледовитости баланс отвечает ростом в 5 ккал/см²·год.

Нетрудно подсчитать, что при такой изменчивости радиационного баланса только ликвидация морских льдов в Северном полушарии обеспечивает прирост тепла примерно на 5×10^{18} ккал/год. Если же учесть возможность уничтожения морских льдов в Южном полушарии и возможность сокращения площади и длительности снежного покрова на континентах, то суммарный прирост радиационного баланса земной поверхности в целом увеличится более чем на 10^{19} ккал/год. Такой объем тепла эквивалентен 14 000 триллионам т угля с нормальной теплотворной способностью 7000 ккал/кг.

О чем говорят все эти соображения и расчеты?

Когда Земля охлаждается до такой степени, что замерзает поверхность Полярного бассейна, как это было на стыке плиоцена и плейстоцена, то достаточно незначительных, но устойчивых изменений в планетарной циркуляции атмосферы и гидросферы, как в полярных и частично умеренных широтах возникнет ледяной покров либо они станут теплее, чем в наше время.

В какой точке этой размашистой амплитуды от оледенения до полной безледности северных широт суждено находиться Земле, зависит от изменчивости атмосферных процессов и связанных с ними изменений в циркуляции гидросферы. Изменения же в планетарной циркуляции атмосферы, по последним представлениям, обусловливаются изменениями солнечной активности.

Звенья механизма, связывающего изменения солнечной активности с изменениями ледовитости, хорошо иллюстрируются рис. 12. Как видно из рисунка, рост солнечной активности повышает частоту меридиональных типов атмосферной циркуляции, усиливающих поступление теплых атлантических вод в высокие широты. Рост тепла морской и воздушной адвекций повышает температуру Баренцева моря, как, впрочем, и всей приатлантической части Арктического бассейна, что в конечном счете ведет к снижению его общей и навигационной ледовитости.

Таблица 3

Изменение составляющих радиационного баланса в зависимости от ледовитости, ккал/см²·год
(по В. Л. Гаевскому)

Составляющие	Ледовитость, %				
	100	90	80	70	60
Поглощенная радиация	21	25	30	34	39
Эффективное излучение:					
в период полярного дня	—6	—6	—6	—6	—6
в период полярной ночи	—11	—11	—10	—9	—9
Радиационный баланс:					
в период полярного дня	15	19	24	28	33
в период полярной ночи	—11	—11	—10	—9	—9
Среднегодовое значение радиационного баланса	4	8	14	19	24

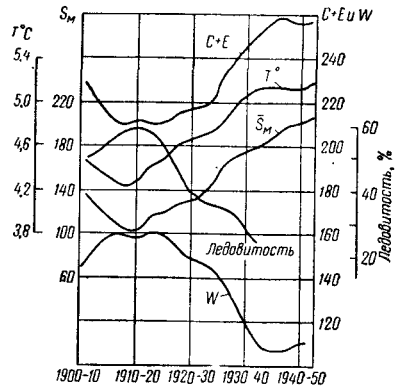


Рис. 12. Сопоставление многолетних изменений солнечной активности (по индексу $\bar{S}_м$ Северного полушария Солнца), **годичной повторяемости меридиональной (С + Е) и западной (W) циркуляции, ежегодной навигационной** (май—август) **ледовитости Баренцева моря и средней температуры воды слоя 0—50 м на разрезе по Кольскому меридиану по 11-летним скользящим осреднениям** (по Н. И. Тябину)

Несколько ранее та же связь между вековыми изменениями солнечной деятельности и ледовитостью приатлантического сектора Арктики через циркуляцию атмосферы и гидросферы была установлена И. В. Максимовым.

Представленные взаимосвязи гелиогеофизических явлений делают обоснованной экстраполяцию на более продолжительные и более глубокие изменения в прошлом, ибо закономерности, определяющие изменения климата за первую половину нашего столетия, должны были действовать на протяжении всего антропогена. Поэтому необходимо признать, что причинами частых и крупномасштабных изменений климата в четвертичном периоде являются звенья длинной цепи. Она берет начало в деятельности Солнца и замыкается в физико-географических особенностях земной поверхности, в первую очередь, как мы видели, в особенностях океанической адвекции тепла и характере межокеанического водообмена.

Последнее обстоятельство требует дополнительной детализации. При рассмотрении изменений климата обычно анализируются две его составляющие — теплообеспеченность и изменение увлажнения, — зависящие от характера водообмена между Арктическим бассейном и более южными бассейнами Мирового океана. Наиболее эффективен водообмен с Северной Атлантикой. Однако в условиях нагона теплых вод в непроточный Арктический бассейн климатический эффект водообмена вдоль северного побережья Евразии неравномерен: для приатлантического сектора он значительно благоприятнее, чем для тихо-

океанского. Поэтому северо-западная часть Евразии обеспечена теплом больше, чем северо-восточная. Эта «несправедливость» сохранялась на протяжении всей кайнозойской эры, особенно начиная с олигоцена, когда поднявшаяся суша отгородила Арктический бассейн от Волжского моря, через которое шел водообмен с Индийским океаном. Западная и Северная Сибирь тогда обогревались теплом, приносимым атлантическими водами в большей мере, чем в миоцене.

В отношении увлажнения наблюдается та же тенденция, что и в отношении теплообеспеченности. Оно более благоприятно в северо-западной части. Так как Атлантический океан служит основным поставщиком тепла и влаги на евразийский континент, то поэтому вдоль широт с запада на восток с падением теплообеспеченности падает и влагообеспеченность. Зависимость увлажнения от теплообеспеченности особенно ярко проявляется в условиях западно-восточного переноса воздушных масс, наблюдаемого в умеренных широтах. Так, понижение зимней температуры от Атлантики на восток снижает количество осадков в Сибири.

Когда же в Арктике теплело, когда снижался температурный контраст между полюсом и экватором, тогда и влажность в Евразии повышалась.

И. П. Герасимов и К. К. Марков писали: «Потепления в межледниковые и послеледниковую эпохи были особенно значительны именно в Арктике. Горизонтальный температурный градиент (с севера на юг) уменьшался. Сравнительно теплые, а потому и влажные массы полярного и арктического воздуха при медленном движении к югу не могли вызывать засуху в средних широтах, как это наблюдается в настоящее время . . . В межледниковое время воды Баренцева моря имели настолько высокую температуру, что зарождающиеся над ними (и севернее) воздушные массы были достаточно влажными» [1].

Много лет спустя К. К. Марков в 1956 г., снова возвращаясь к этому вопросу, отмечал, что после исчезновения последнего ледникового покрова на Русской равнине климат становился в общем более влажным.

[1] *В. П. Герасимов* и *К. К. Марков*. Ледниковый период на территории СССР. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1939.

Здесь необходимо подчеркнуть следующее важное обстоятельство. В межледниковые эпохи повышались температура поверхностных вод океанов и испарение с них, повышались температура воздушных масс, их влагосодержание, а с ним и осадки на континентах [1]. О. А. Дроздов установил количественную сторону зависимости роста осадков от роста влагосодержания атмосферы. Так, например, при росте влагосодержания с 40% до 80—100% коэффициент пропорциональности возрастает в 10 раз, но, что очень важно, наиболее быстрые изменения происходят в интервале средней относительной влажности 45—55%, в котором изменение осадков возрастает в 4,5 раза. Наряду с этим следует заметить, что при тепло- и влагообеспеченности заметно увеличивается роль местного испарения на континентах — фактора, в свою очередь стимулирующего атмосферные осадки. Словом, как это нередко наблюдается в жизни, одно преимущество рождает другое, и нам пора сформулировать те основные закономерности изменения климата, которые сложились в четвертичном периоде и которые распоряжаются нашим климатом в настоящее время.

[1] По данным Х. Флона, уменьшение испарения с поверхности холодных океанов ледникового периода составляло более 25%.

Закономерности изменения климата

Все колебания климата как продолжительные, так и кратковременные характеризуются одной и той же географической схемой изменений, отличаясь лишь периодом и амплитудой.

Херд С. Уиллетт

Попытаемся сформулировать основные закономерности изменения климата в четвертичном периоде на основе изложенных материалов.

Все изменения происходили синхронно по всей поверхности Земли однозначно с изменениями теплосодержания атлантических вод, поступавших в Арктический бассейн. Они характеризовались колебаниями температурного контраста экватор — Северный полюс главным образом за счет зимних температур, летние менялись незначительно.

Хотя климатические изменения происходили по всей Земле одновременно, амплитуда температурных колебаний в разных поясах постоянно была различной. Наибольшими амплитудами отличались полярные широты Северного полушария, наименьшими — экваториальные. Промежуточными были колебания температуры в Южном полушарии.

Все климатические оптимумы повышали температуру поверхностного слоя Мирового океана, а с теплом увеличивалось испарение. Абсолютная влажность атмосферы возрастала. Естественно, что при этом в ледниковые эпохи континентальность климата и общая аридизация природы усугубляются; в теплые периоды континентальность падает, общая увлажненность материков повышается, пустыни становятся менее сухими. Влияние климатических оптимумов на морскую фауну Северного Ледовитого океана сильнее всего сказывается в приатлантическом секторе, слабее в притихоокеанском, поскольку сюда атлантические воды проникали в меньшем объеме и с меньшим теплосодержанием. Что же касается тепловлаголюбивой растительности, то по мере того, как климатический оптимум набирал силу, она распространялась с запада на восток в глубь Евразии, так как климат на северо-востоке Евразии всегда был холоднее, чем на северо-западе. При оптимумах климат становится более устойчивым, а различия между секторами в Северном полушарии несколько сглаживаются. Даже в нынешнее время, при обычной смене теплых и холодных сезонов, зимой каждый сектор Северного полушария отличается своим температурным режимом и осадками, летом же различия между секторами несколько сглаживаются. И последняя закономерность — процессы климатических изменений в антропогене четко обратимы.

Четкость проявления закономерностей и их географическая распространенность различна — она возрастает с ростом амплитуды и длительности климатических изменений.

Некоторые закономерности уже давно получили ясную физико-математическую основу. Так, В. В. Шулейкин установил закон падения температурной аномалии при проникновении тепловых потоков с поверхности океана в глубь Евразии, причем математические зависимости хорошо согласуются с наблюдениями над природными процессами [1].

Отсюда вытекает важнейший принципиальный вывод: повышение температуры поверхностных вод Мирового океана и в первую очередь поверхностных вод Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана является главной причиной планетарного улучшения климатических условий.

Или, как было отмечено Л. Р. Ракиповой, из всех возможных способов искусственного изменения климата

[1] Так, например, оперирование этими зависимостями с целью определения современного местоположения полюса холода между Тихим и Атлантическим океанами устанавливает отклонения от фактического его местоположения всего лишь на 6° долготы.

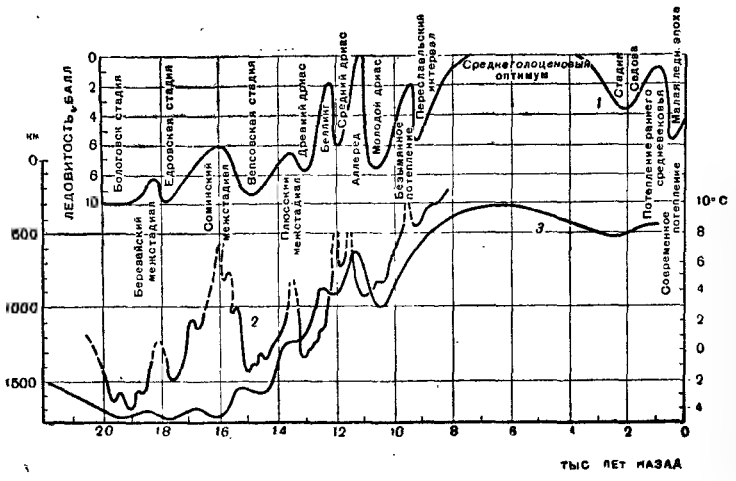


Рис. 13. Хронологическая схема динамики морских льдов валдайского оледенения и среднегодовой температуры за последние 20 000 лет

1 — динамика морских льдов в Северном полушарии;

2 — динамика валдайского оледенения Русской равнины (по Н. С. Чеботаревой и др.);

3 — изменения средней годовой температуры в Центральной Европе (по П. Вольдштедту)

наиболее эффективным следует считать растопление льдов Арктики.

Но может быть арктические льды нельзя уничтожить? Здесь мнения ученых расходятся. М. И. Будыко рассматривает морские льды Арктики как реликт минувшей ледниковой эпохи, который существует благодаря своему высокому альбедо. Поэтому, если морские льды однажды уничтожить, то они уже не смогут вновь возникнуть. Д. А. Дрогайцев считает, что альбедо действует только в летнее время, а зимой, когда в долгую полярную ночь вообще нечего отражать, открытая поверхность бассейна обречена на замерзание, следовательно, восстановление ледяного покрова неизбежно, даже если удастся его уничтожить полностью.

Поэтому очень важно определить природу дрейфующих льдов. От этого зависит выбор способа, как их уничтожить и предупредить регенерацию (восстановление). Если льды — реликт, то, может быть, действительно, достаточно их один раз уничтожить. Если же они возникают периодически и неизбежно вследствие современных процессов в атмосфере и гидросфере Земли, то тогда требуются меры, которые не позволили бы им восстанавливаться.

Наш предварительный анализ ледовитости Арктического бассейна на протяжении последних 20 000 лет (рис. 13) показал, что ледовитость Северного Ледовитого океана превышала современную в общей сложности на протяжении 9300 лет. В голоцене дважды с общей продолжительностью 5000 лет Арктический бассейн был вообще свободен от ледяного покрова. Помимо этого несколько раз с общей продолжительностью до 4000 лет ледяной покров бассейна находился в неустойчивом состоянии: он исчезал летом и восстанавливался зимой в меньшем объеме, чем в наше время. Иными словами, в голоцене в течение 9000 лет из 12 000 ледовые условия были несравненно более благоприятными, чем в наши дни.

Неоднократные таяния и восстановления ледяного покрова говорят о том, что морские льды Арктики не являются реликтом минувшей эпохи. Они — продукт климата. Поэтому при современной адвекции тепла, которая недостаточна, замерзание поверхности Арктического бассейна и восстановление ледяного покрова становятся неизбежными.

Говорим ли мы о консервативности морских льдов или о том, насколько надежно устойчива открытая безледная поверхность — в обоих случаях мы должны проявлять определенную осторожность. И льды, и безледная поверхность — в равной степени образования неустойчивые. Достаточно напомнить, что на Земле в среднем две трети морских льдов ежегодно обновляются, а в Антарктике даже четыре пятых. Несмотря на то, что полярные широты Южного полушария несравненно более суровы, чем северные, антарктические льды моложе арктических — это объясняется тем, что у Антарктики лучший водообмен с теплыми бассейнами (Тихим, Атлантическим, Индийским океанами). В Южном Ледовитом океане лишь в отдельных местах можно встретить лед двух- или трехлетнего возраста. В Северном же Ледовитом океане значительная часть живет три года и более. Так или иначе, все это льды далеко не реликтовые, они постоянно обновляются.

Еще совсем недавно, в 30-х годах нашего века, дрейфующие льды Арктического бассейна таяли, как гово-

рится, «у нас на глазах». Потепление набрало такие темпы, что некоторые зарубежные исследователи считали: сохранись эти темпы — через 50 лет огромные пространства в летние сезоны окажутся открытыми для судоходства. Однако этого не произошло. Наоборот, с 1940 г. общая навигационная ледовитость начала ухудшаться, и ухудшение это продолжается до последних лет.

В общей циркуляции атмосферы выделяют меридиональную и зональную. Если преобладает меридиональная (с юга на север), то растет нагон теплых вод в Арктический бассейн. Количество дрейфующих льдов уменьшается иногда до полного уничтожения, как это было в голоцене. Если же преобладает зональная (широтная) циркуляция, то адвекция тепла в Арктический бассейн падает. Ледяной покров восстанавливается и разрастается. В 1953—1957 гг. в секторе моря Лаптевых граница старых льдов переместилась к югу почти на 1000 км со средней скоростью примерно 250—300 км в год. Но быстрота смен фазового состояния воды поверхностного слоя (лед или вода) будет зависеть и от наличия на поверхности бассейна горизонта распресненной воды. Чем меньше плотность поверхностных вод и чем мощность этого слоя больше, тем устойчивость ледяного покрова возрастает. Современные физико-географические условия Арктического бассейна благоприятствуют непрерывной генерации поверхностного распресненного слоя, а следовательно, повышают устойчивость его замерзания.

Однако такая генерация возможна при определенной стационарности других факторов, что не всегда имеет место. Так, рост поступления теплых атлантических вод из Атлантики в Арктический бассейн реактивно вызывает увеличение стока холодных распресненных вод и льда из Арктики в Атлантику. При определенных соотношениях теплосодержания встречных водных масс холодные воды способны гасить раз начавшееся потепление. Автоколебания, вскрытые В. В. Шулейкиным, иллюстрируют сказанное. Другой пример — повышение температуры поверхностного слоя морских вод в Атлантике и в Арктике вызывает увеличение осадков как на суше, так и над Арктическим бассейном, а с ним распреснение поверхностного слоя бассейна. Распреснение тормозит теплообмен между глубинными водами и атмосферой, что, как мы видели, способствует развитию ледяного покрова.

Наряду с этим достаточно большие массы атлантических вод могут размывать поверхностный распресненный слой. Тогда возникнут условия, благоприятные для безледной Арктики.

Сказанное находится в противоречии с тезисом о том, что тепло солнечной радиации в деятельном слое за летний период аккумулируется в объеме, который обеспечивает незамерзаемость Арктического бассейна в течение зимы. Дело в том, что жизнью ледяного покрова управляют не только высокое альбедо льда и снега на нем, но и другие причины. Отметим главные, которые не могут быть устранены при любом однократном уничтожении дрейфующих льдов.

Первая — непрерывное восстановление поверхностного распресненного слоя воды в бассейне за счет поступления 36 000 км^3/год тихоокеанских вод, менее соленых, чем атлантические (поэтому первые распресняют последние), и поступления речного стока в объеме свыше 4000 км^3/год. Эти два фактора в течение 10—15 лет способны вызвать настолько устойчивую стратификацию водных масс Арктического бассейна, что вертикальная циркуляция, а с ней и теплообмен с нижележащими теплыми водами существенно замедляется.

Вторая причина — противоток в Европейском бассейне и Северной Атлантике теплых атлантических вод, идущих с юга на север, и холодных арктических вод с массой льда, идущих из Арктического бассейна с севера на юг, ведет к самоторможению роста теплового бюджета Арктического бассейна. Самоторможение происходит по двум линиям: сначала за счет морской адвекции, так как в Арктический бассейн начинают поступать все более охлажденные атлантические воды, а затем с зарождением ледяного покрова и последующего его разрастания — за счет уменьшения радиационного баланса.

Влияние этих двух причин столь велико, что они способны погасить прирост тепла, определяемый уменьшением альбедо, и восстановить ледяной покров. Поэтому после его уничтожения при современных атмо- и гидропроцессах сохраняется необходимость в добавочной искусственной морской адвекции тепла. Об этом говорят и материалы А. С. Монина, согласно которым арктические льды после их уничтожения восстанавливаются по естественным причинам в течение семи лет.

Таким образом, дрейфующие льды Арктики не являются реликтом сравнительно далекого прошлого. Они — закономерное следствие слабой меридиональности процессов в атмосферной и гидросферной оболочках Земли. Однако и сама меридиональность общей циркуляции атмосферы неустойчива.

В масштабе столетий, а в некоторых исключительных случаях даже в масштабе нескольких десятилетий меридиональность может изменяться, вызывая то полную ледовитость, то полную безледность Арктического бассейна. Поэтому проекты однократного уничтожения дрейфующих льдов Арктики с целью устойчивого улучшения климата бесперспективны. Чтобы достичь устойчивого акриогенного состояния Арктического бассейна, требуется не столько уничтожить ледяной покров, сколько погасить силы, порождающие его образование. Для этого необходимо огромное количество тепла. Его можно найти в Мировом океане и его теплых течениях.

Рассмотрим эту возможность.

Мировой океан, морские течения и их роль в формировании климата

Теплые течения — трубы водяного отопления земного шара.

А. И. Воейков

Мировой океан, или гидросфера Земли, объединяет почти все океанические и морские воды, имеющие единую поверхность. Он занимает почти три четверти поверхности земного шара — 361 млн. км², в то время как суша — только 149 млн. (рис. 14).

Средняя глубина относительно невелика — 3,8 км. Столь тонкую гидросферу можно уподобить пленке толщиной в 1 мм на глобусе диаметром 3 м. Но она играет огромную роль в органической жизни и климатах Земли.

Океан — колыбель жизни. В далеком прошлом в теплых и тихих морских лагунах возникли и развивались первые живые клетки, а потом и простейшие организмы. Если бы жидкая пленка испарилась, то на обсохшей Земле не нашлось бы ни одного уголка для современного высокоразвитого органического мира. Да и тепловой режим стал бы иным — в январе на Северном полюсе вместо современной средней температуры —30° стало бы —80°.

Океаническая поверхность из всех естественных поверхностей Земли является лучшим поглотителем солнечной радиации. Но та же поверхность в другом агрегатном состоянии (лед и снег) является наиболее совершенным отражателем. Хотя температурная гамма поверхности океана и приземного слоя атмосферы невелика,

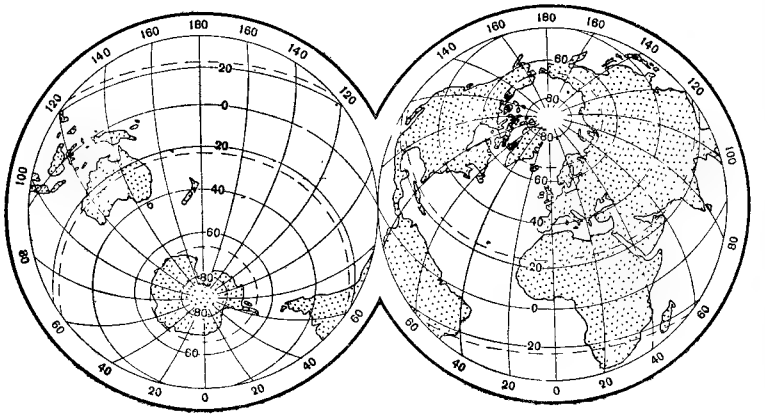


Рис. 14. Океанические и материковые полушария

но вода в этом тесном диапазоне довольно часто и быстро меняет свое состояние. Такая изменчивость резко сказывается на климате.

Океан — огромный дистиллятор. Он ежегодно испаряет 448 000 км³ воды, а континенты — только 71 000. Чем теплее океан, тем больше он испаряет влаги. Влажный воздух, укрывая планету, понижает утечку тепла в космическое пространство, лучше орошает земли и облегчает земледельцу выращивание обильных урожаев.

Океан — мощный терморегулятор планеты. Благодаря большой массе воды и ее высокой теплоемкости (в 3200 раз большей, чем у воздуха) он летом аккумулирует солнечное тепло и расходует его зимой на обогрев атмосферы, выравнивая межсезонную изменчивость климата. В ряде случаев океан выравнивает и межгодовые колебания. Материки не способны аккумулировать тепло, поэтому континентальность климата, как правило, возрастает с удалением от границ с океаном.

Воды океана находятся в беспрерывном движении. Они больше, чем суша, поглощают солнечное тепло и являются генеральным поставщиком энергии в глобальные ветровые системы. Ураганы и штормовые ветры энергично перемешивают и перемещают водные массы. Так, течение Западных ветров в Южном полушарии ежегодно переносит вокруг Земли около 6 млн. км³ воды, что равно двум объемам Средиземного моря. Особенно активен по-

верхностный 100—200-метровый слой. Но и подповерхностные и даже придонные слои океана находятся в вечном движении. Морские течения приносят большие массы тепла и холода. Частица воды может совершить в Мировом океане любые кругосветные путешествия, меняя свое состояние, нагреваясь под экватором и обращаясь в лед в полярных водах обоих полушарий.

Морские течения вместе с воздушными выравнивают температуру между полярными и тропическими широтами и полностью выполняют роль, отмеченную в эпиграфе словами А. И. Воейкова.

В табл. 4 приведены температуры по широтным поясам, вычисленные и наблюдаемые. Разность является результатом теплообмена, определяемого циркуляционными процессами в атмосферной и гидросферной оболочках Земли. Легко видеть, как сильно сказывается межширотный теплообмен на температурное поле Земли. Если бы его не было, то в экваториальном поясе температура поднялась бы на 13°, а в широтах от 60° северной широты до полюса температура в среднем снизилась бы на 22°. На широтах Москвы и Ленинграда господствовал бы климат современной Центральной Арктики, т. е. совершенно непригодный для растительного мира.

Таблица 4

Распределение вычисленной средней температуры, определяемое солнечной радиацией и фактически наблюдаемой, в Северном полушарии по широтам (по Бауру)

Температура	Широта, град.									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Вычисленная	39	36	32	22	8	−6	−20	−32	−41	−44
Фактическая	26	27	25	20	14	6	−1	−9	−18	−20
Разность	−13	−9	−7	−2	6	12	19	23	23	24

Количественное представление о межширотном переносе тепла морскими и воздушными циркуляционными процессами дает табл. 5.

Как видно из таблицы, приход солнечной коротковолновой радиации быстро уменьшается от экватора к полюсу, что находит объяснение в шарообразности

Таблица 5

Оценка годового теплового баланса Северного полушария (по Ретьену), кал см² · мин

Широтная зона, град.	Доля общей площади	Поглощаемая коротковолновая радиации	Излучаемая длинноволновая радиация	Избыток или дефицит (—)
90—60	0,14	0,13	0,30	—0,17
60—40	0,22	0,23	0,29	—0,06
40—20	0,30	0,34	0,32	0,02
20—0	0,34	0,39	0,29	0,10

Земли. Потери через длинноволновую радиацию, наоборот, остаются почти неизменными во всех широтных поясах, так как шарообразная поверхность Земли здесь не имеет значения. Отсюда возникает относительный избыток тепла в широтах ниже 40° и недостаток выше этой границы, что порождает контрасты температур, приведенных в табл. 4. В реальных условиях, как мы видели, избыток и недостаток тепла уравновешиваются за счет межширотного теплообмена, осуществляемого через механизмы водо- и воздухообмена.

Практический интерес представляет вопрос — кому же принадлежит определяющая роль в транспортировке тепла от планетарного котла к планетарному холодильнику, т. е. от экваториальных и тропических широт к полярным? Морской или воздушной адвекции?

В разное время вклад каждой из этих адвекций различен. В современных условиях и в более холодных в прошлом, когда Арктический бассейн в значительной своей части круглый год покрыт дрейфующими льдами, морская адвекция относительно невелика, но по мере того, как в Арктический бассейн нагоняются атлантические воды, ее роль возрастает. Современное соотношение морской и воздушной адвекций отдельными исследователями определяется по-разному: от 1 : 2 в пользу воздухообмена до 1:1,5 в пользу морской адвекции. Мы же в своих расчетах воздушную адвекцию в счет принимать не будем, так как ее относительная и абсолютная значимость в акриогенных условиях естественно падает. Тот относительно небольшой вклад тепла, который вносит воздушная адвекция, мы будем резервировать в «запас прочности».

А. И. Воейков, называя морские течения регуляторами температуры, считал, что «воздушные течения далеко не в такой степени содействуют уравнению температур между экватором и полюсом, как морские течения, и по своему прямому влиянию в этом отношении не могут сравняться с последними. Но косвенное влияние их очень велико» [1].

П. П. Лазарев в 1927 г. построил модель океанических и атмосферных циркуляций. Эта модель показала, что океанические течения, проходя через Северный полюс и принося в полярную область большое количество тепла, отепляют ее. Отдавая должное советскому экспериментатору, англичанин Брукс отмечал: «Когда модель отображала современное распределение суши и моря, возникавшие в бассейне течения до мелочей оказывались сходными с ныне существующими течениями . . . В моделях, воспроизводивших условия теплых периодов, океанические течения проходили через полюс, между тем как в моделях холодных периодов ни одно течение не пересекало полюса» [2].

Брукс отвергал самодовлеющую роль атмосферной циркуляции и считал, что возможные ее изменения не способны сами по себе, без привлечения других факторов, вызвать крупные климатические изменения. «Роль атмосферной циркуляции, — писал он, — следует рассматривать как регулирующую, иногда, возможно, усиливающую, но не порождающую крупнейшие климатические колебания» [3]. Если морские течения, по меткому определению А. И. Воейкова, служат терморегуляторами климата, то этого нельзя сказать о макроциркуляциях атмосферы. Из всех климатообразующих факторов, как отмечал Б. Л. Дзердзеевский, они при своей динамичности являются наименее постоянным фактором.

Анализ донных отложений в Арктическом бассейне также подтвердил, что именно морские течения по сравнению с воздушными играют определяющую роль в формировании климата. В тех случаях, когда теплые атлантические воды слабо проникали в Арктический бассейн,

[1] *А. И. Воейков.* Климатические условия ледниковых явлений настоящих и прошедших. — Зап. Импер. СПб. мин. об-ва, 1881, серия 2, ч. 16, стр. 59.
[2] *Ч. Брукс.* Климаты прошлого. М., ИЛ, 1952, стр. 63.
[3] Там же, стр. 50.

температура в полярных широтах падала. Низкая температура приводила не только к восстановлению ледяного покрова бассейна, но и к возрождению ледниковых щитов на континентах.

Придавая огромное значение направлениям морских течений в формировании климата, А. И. Воейков писал: «Не вправе ли мы сказать, взвесив главные условия, влияющие на климат: без всякого изменения массы нынешних течений, без изменений средней температуры воздуха на земном шаре опять возможна температура в Гренландии, подобная бывшей там в миоценовый период, и опять возможны ледники в Бразилии. Для этого требуются лишь известные изменения, направляющие течения иным образом, чем теперь» [1]. Много лет спустя академик Е. К. Федоров указал на необходимость тщательного изучения возможных изменений климата в связи с отклонением некоторых морских течений, считая, что оно должно стать одним из важнейших направлений в наших исследованиях.

Поэтому будет полезным напомнить краткие характеристики современных океанических течений (рис. 15).

Наиболее мощным теплым течением Мирового океана, оказывающим решающее воздействие на климат Северного полушария, является система течений Северной Атлантики под общим названием Гольфстрим. Система охватывает огромное пространство от Мексиканского залива до берегов Шпицбергена и Кольского полуострова. Собственно же Гольфстримом называется участок от места слияния Флоридского течения с Антильским (30° северной широты) до острова Ньюфаундленд. На широте 38° мощность достигает 82 млн. км³/сек, или 2585 тыс. км³/год.

В районе Новой Шотландии и южного края Ньюфаундлендской банки Гольфстрим соприкасается с холодными распресненными водами течения Кабота, а затем с водами холодного течения Лабрадор. Мощность Лабрадора составляет примерно 4 млн. м³/сек. Оно вместе с холодными водами выносит в район Большой Банки морские льды и айсберги.

Льды морского происхождения обычно держатся над самой банкой и, попадая в воды Гольфстрима, быстро тают.

[1] *А. И. Воейков.* Климатические условия ледниковых явлений настоящих и прошедших. — Зап. Импер. СПб. мин. об-ва, 1881, серия 2, ч. 16, стр. 90.

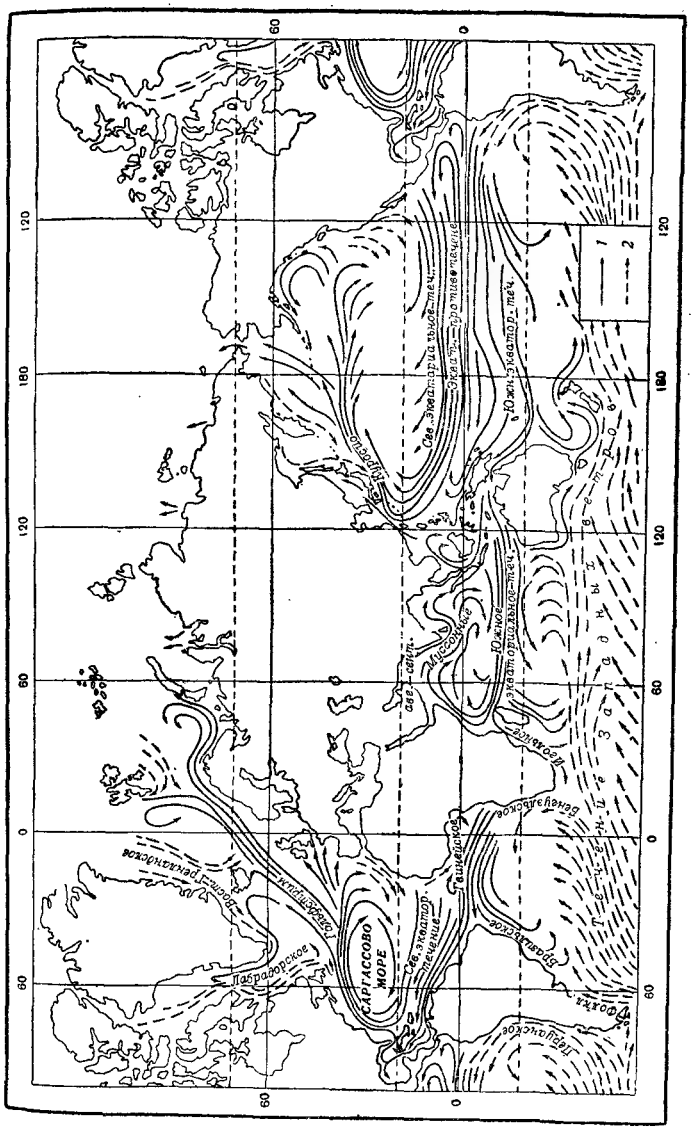


Рис. 15. Схема течений Мирового океана
1 — теплые;
2 — холодные

Айсберги же имеют более продолжительную жизнь. Попав в воды Гольфстрима, они дрейфуют на северо-восток и даже снова на север, а нередко совершают длительное плавание по всей Северной Атлантике. В исключительных случаях они заносятся на юг, почти до 30° северной широты, а на восток почти до Гибралтара.

Значительная часть айсбергов распространяется по окраинам Большой Банки, особенно по северным, где, садясь на мель, они остаются до тех пор, пока не растают настолько, что их уменьшенная осадка позволяет им продолжать свой дрейф дальше.

Помимо морских льдов и айсбергов в районе Ньюфаундленда, как и у берегов Лабрадора, встречается и донный лед, по мере образования всплывающий на поверхность и участвующий в общем дрейфе льда. Поскольку температурная разность контакта Гольфстрима и Лабрадора очень велика, воды Гольфстрима сильно охлаждаются.

Пройдя Большую Ньюфаундлендскую банку, Гольфстрим под названием Северо-Атлантического течения движется на восток со средней скоростью 20—25 км/сутки и по мере продвижения к берегам Европы принимает северо-восточное направление. За банками Ньюфаундленда оно отделяет ветви-рукава, теряющиеся в водоворотах. Около 25° западной долготы от южного его края отходит большая ветвь Канарского течения к Пиренейскому полуострову.

При подходе к Британским островам от Северо-Атлантического течения отделяется с левой стороны большая ветвь — течение Ирмингер, направляющееся на север в сторону Исландии; основная же масса, пересекая порог Уайвилла-Томсона, проходит в проливе между Шетландскими и Фарерскими островами и входит в Норвежское море.

Линия порогов Уайвилла-Томсона, а затем Гренландско-Исландский порог являются четкой границей между Атлантическим и Ледовитым океанами. На глубине 1000 м к югу от Фареро-Шетландского порога, имеющего глубину менее 500 м, температура воды почти на 8° выше, чем к северу. Соленость на той же глубине с южной стороны порога больше на 0,3‰. Объяснение этой исключительной контрастности кроется в отклонении к западу глубинных слоев теплых вод на южной стороне, в то время как на северной стороне порога холодные воды отклоняются им

на восток. В результате на севере от порога вся глубоководная часть Гренландского и Норвежского морей заполнена очень холодной и плотной водой. Эта система порогов также разграничивает области с преобладанием на поверхности атлантических и арктических вод.

Северо-Атлантическое течение, минуя пролив между Фарерскими и Шетландскими островами, под названием Норвежского теплого течения проходит вдоль западного побережья Скандинавского полуострова. В районе пересечения Северного полярного круга, с левой стороны от него отходит ветвь самостоятельного потока теплых вод, имеющая во все сезоны года устойчивое направление на север.

Западнее мыса Нордкап, от Норвежского течения с правой стороны отходит на восток в Баренцево море Нордкапское течение. Восточнее 35 меридиана оно хотя и разбивается на мелкие струи, но играет заметную роль в термике Баренцева моря. Так, малая по мощности Мурманская ветвь делает Мурманский порт открытым круглый год для свободного плавания судов любого типа.

Вследствие большей плотности атлантические воды на значительной части акватории Баренцева моря погружаются под легкие слои местной воды. Часть атлантических вод проникает в Карское море. Вместе с тем теплая атлантическая вода под слоем местной полярной воды заходит в Баренцево море также и с севера, со стороны Арктического бассейна по глубоким желобам западнее и восточнее Земли Франца-Иосифа, куда она попадает как ответвление от уже глубинного Шпицбергенского течения.

Левая ветвь Норвежского течения после отхода от него Нордкапской ветви идет на север под названием Шпицбергенского. Основной поток его при входе в пролив Шпицберген-Гренландия теряет часть своей кинетической и тепловой энергии за счет того, что пролив отражает часть водных масс и за счет бокового смешивания с водами встречного холодного Восточно-Гренландского течения. Отраженные водные массы движутся вначале в западном, а затем в южном направлении, вклиниваются в холодные струи Восточно-Гренландского течения и, смешиваясь с ними, образуют круговые течения в районе нулевого меридиана и 74—78° северной широты.

Шпицбергенское течение проходит вдоль западных берегов Шпицбергена со скоростью около 6 км в сутки, со средней температурой воды 1,9° и соленостью 35‰. Севернее Шпицбергена вследствие разности плотностей оно опускается под арктические воды и продолжает свой путь в Центральной Арктике уже в виде глубинного теплого течения. Но это не единственное место, где шпицбергенские теплые воды погружаются под холодные арктические. На Гренландском восточном мелководье всюду на глубинах более 200 м господствуют их высокие положительные температуры. Эти теплые воды могут проникать глубоко в заливы и фиорды. Разумеется, такое глубокое проникновение под встречные, быстро продвигающиеся на юг распресненные воды, несущие с собой не только паковые льды с глубокой осадкой, но и айсберги, не может происходить без большой потери кинетической энергии и тепла. Работами станции «Северный полюс-I» установлена весьма активная роль атлантических вод в отеплении верхнего холодного слоя. Даже зимой, несмотря на низкие зимние температуры воздуха, атлантические воды, действуя на льды снизу, все время их ослабляют. Это относится и к местным льдам, и к льдам, выносимым из Центральной Арктики в Гренландское море.

Пробег вод Гольфстрима от Флоридского пролива до порога Томсона занимает 11 месяцев, а от порога Томсона до Шпицбергена около 13 месяцев.

Течение Ирмингера, отделившись при подходе к северным берегам Британских островов от Северного Атлантического течения, приобретает направление на север в сторону Исландии. Примерно на 63° северной широты течение раздваивается. Правая его часть уходит в Датский пролив и своими теплыми водами омывает не только западные берега Исландии, но и северные. В этом районе оно входит в соприкосновение с исландской ветвью Восточно-Гренландского течения и, смешиваясь с ее водами, охлаждается и движется на юго-восток. Левая, более мощная часть Ирмингера после разветвления поворачивает на юго-запад, а затем на юг, под косым сечением встречается с потоком вод и льдов Восточно-Гренландского течения. На стыке вод температура на расстоянии от 20 до 36 км понижается с 10 до 3°.

В районе южной оконечности Гренландии течения Ирмингер и Восточно-Гренландское концентрически огибают мыс Фарвель и всю юго-западную часть острова и под названием Западно-Гренландского течения проходят через пролив Девиса в Баффинов залив.

Восточно-Гренландское холодное течение, служащее основным трактом для стока вод и выноса льда из Арктического бассейна, получает свое начало на материковой отмели Азии. При постепенном перемещении от материка на север течение в районе Полюса раздваивается: одна ветвь направляется в американский сектор Арктики, другая — в сторону Гренландского моря. У северо-восточного побережья Гренландии в Восточно-Гренландское течение вливаются воды холодного течения, идущего с запада вдоль северного побережья Гренландии. Ширина Восточно-Гренландского течения у 75—76° северной широты — 175—220 км, скорость возрастает от двух миль в сутки под широтой 80° до 8 миль под 75°, до 9 миль под 70° и до 16—18 миль под 65—66° северной широты; температура воды всюду ниже 0°. Пройдя Датский залив, оно соприкасается с теплым Ирмингером и вместе с ним огибает мыс Фарвель. В этом районе морские льды и айсберги, попадая в струи теплых вод, быстро тают. У мыса Фарвель ширина пояса плавучих льдов в отдельные месяцы достигает 250—300 км, но благодаря теплым водам Ирмингера, севернее мыса Дезолейшн (62° северной широты), льды никогда не образуют здесь сомкнутого покрова, а ширина их пояса не превышает нескольких десятков километров.

Лабрадорское течение является продолжением холодного течения Баффиновой Земли, берущего начало у пролива Смита. Оно проходит вдоль берегов полуострова Лабрадор и далее на юг вдоль восточного берега Ньюфаундленда; мощность его примерно 130 000 км³/год. Оно несет морские льды и айсберги и, как уже отмечалось, сильно охлаждает воды Гольфстрима. Воды Лабрадора остаются холодными весь год, охлаждая и все омываемое им побережье. Тундровая растительность на Ньюфаундленде обязана своим существованием холодным водам Лабрадора. Примечательно, что почти на той же широте, но по другую сторону Атлантики, во Франции, произрастают лучшие сорта винограда.

Рассматривая трассы течений Северной Атлантики, мы убеждаемся, насколько прав был А. И. Воейков, когда говорил, что направление морских течений играет огромную роль в формировании климата. На одном и

том же меридиане расположен далеко за полярным кругом незамерзающий порт Мурманск, а лежащие на 2500 км южнее азовские порты ежегодно замерзают на несколько месяцев. И, наконец, север Атлантического бассейна можно уподобить ванне, в которую через два крана вливается холодная вода (Лабрадор и Восточно-Гренландское течения) и через один — теплая вода Гольфстрима. Регулируя краны, мы можем менять термику Атлантики, а с ней и климат окружающих континентов. Признание большой роли морских течений в формировании климата определило с конца прошлого века пути региональных улучшений климатического режима, изменяя направления теплых и холодных течений. Наряду с этим развивались проекты крупных гидротехнических мероприятий по регулированию и переброске речного стока. Остановимся на главных гидротехнических проектах по мелиорации природных условий.

Развитие идей регионального и планетарного улучшения климата

Открытие почти никогда не делается сразу. Оно лишь последняя ступенька той длинной лестницы, которая создана трудами очень многих.

А. Е. Ферсман

Первые работы человека по преобразованию природы, в том числе и микроклимата, восходят к глубокой древности, ко времени, когда он прорыл первый арык для орошения возделываемой им земли. Ныне ежегодный прирост орошаемых земель, т. е. преобразование пустынь, полупустынь и сухих степей в плодородные земли, по всему земному шару исчисляется сотнями тысяч гектаров. Оросительные каналы прокладываются на сотни километров. Величайший из них — Каракумский, протяженностью 1440 км, ныне уже действующий почти на всем своем пути, — назван народами СССР «Рекой Жизни».

О первых опытах использования энергии рек в нашей стране свидетельствует летопись XVI в. Она описывает смелую для того времени попытку некоего псковитянина — использовать энергию такой крупной реки, как Волхов, для мукомольной мельницы. Ныне ежегодный ввод гидроэлектростанций на всех реках мира определяется в несколько миллионов киловатт.

Гидросооружения для транспортных целей появились позже. Названия населенных пунктов — Вышний Волочек, Волоколамск, Волокитино, Переволоки и другие — напоминают о межбассейновых речных связях на водораздельных участках с помощью волока судов. Попытке Петра Первого построить канал между Волгой и Доном

помешала сдача Азова. Но связь между Волгой и Балтикой, диктовавшаяся потребностями только что основанного и быстро развивавшегося Петербурга, осуществилась. Был прорыт канал между Тверцой — притоком Волги — и Цной, впадающей в озеро Ильмень, которое через Волхов и Ладожское озеро получило связь с Невой и через нее с Балтикой; длина канала равнялась 3,3 км, а ширина камер его шлюзов всего лишь 2,8 м (!). Ныне осуществлены внутриконтинентальные водные пути, соединяющие Белое, Балтийское, Азовское, Черное и Каспийское моря. По ним возможен проход морских судов водоизмещением 5000—7000 т. США и Канада построили глубоководный путь по реке св. Лаврентия протяженностью 1240 км, который открыл доступ в Великие озера морским судам водоизмещением до 23 000 т. Предполагается создать внутриконтинентальные водные пути, которые пересекали бы Евразию от Балтики и Черного моря до Тихого океана и от Северного Ледовитого океана до озера Байкала.

Давно уже действуют каналы, обеспечивающие межокеанические связи — Суэцкий, Панамский. Проектируются новые и расширяются старые каналы для пропуска судов более крупных типов.

Проектируются крупномасштабные межбассейновые переброски речного стока с северного склона территории СССР на южный из бассейнов рек Северной Двины, Печоры, Оби и Енисея.

Из международных проектов использования водных ресурсов наиболее крупный — проект «Северо-Американский водно-энергетический союз». Выдвинутый в 1964 г. американской инженерно-консультационной фирмой, он предусматривает частичную передачу воды из девяти крупнейших речных бассейнов Британской Колумбии и Аляски в огромное водохранилище в Скалистых горах на высоте 900 м над уровнем моря. Заполнение искусственного водохранилища произведут десятки насосных станций. Это будет гигантское озеро, напоминающее наш Байкал.

Бóльшая часть воды из водохранилища направится на юг в Калифорнию, Аризону, Техас, Оклахому и северные штаты Мексики. Меньшая часть пойдет на восток через степные провинции Канады и штаты США Дакоту и Миннесоту и далее в Верхнее озеро системы Великих

озер. Восточная ветвь обеспечит орошение полей в степных районах Канады и США и создаст внутренний водный путь от Ванкувера на Тихом океане через Великие озера и глубоководный путь св. Лаврентия до Атлантического океана.

Осуществление этого колоссального проекта улучшит водоснабжение семи провинций Канады, 33 штатов США и трех наиболее засушливых штатов Мексики. Объем переброски вод определяется в 214 км³ в год. Реализация проекта оценивается в 100 млрд. долларов. Его можно проводить в жизнь по стадиям. Время полного завершения проекта измеряется 30 годами. По утверждению авторов, это позволило бы удовлетворить все предполагаемые потребности США в воде на ближайшие 100 лет.

Проект получил принципиальное одобрение со стороны комиссии по общественным работам сената США.

Существуют проекты обводнения Сахары морскими и речными водами. Наиболее ранний проект был выдвинут еще в прошлом столетии французским инженером Рудэром. Рудэр предполагал затопить водами Средиземного моря пониженные районы, занятые шоттами (бессточными котловинами), Мельгир и Эль-Гарса. Впоследствии выдвигались и другие проекты. Так, в начале нашего столетия профессор Эшегуайен (Франция) предлагал создать Сахарское море, равное половине Средиземного. Это новое море, по мнению автора, увлажнило бы климат Северной Африки.

Группа итальянских и немецких инженеров предложила обводнить Сахару водами Конго, соорудив на этой реке плотину для создания огромного водохранилища — «моря Конго» площадью 800 000 км². Отсюда по руслам рек Убанги и Шари перебросить воды в озеро Чад. Новые воды, заполнив озеро, разольются по площади 1300 тыс. км² и начнут стекать в Средиземное море, образуя «второй Нил».

Реальность проекта сомнительна. Затопление достигнет площади, превышающей 2 млн. км², а это вызовет слишком обильное испарение. К тому же на территории, которую предполагается затопить, открыты в последнее время крупные месторождения нефти, газа и др.

В 1928 г. немецкий инженер Р. Зергель предложил преобразовать климат Южной Европы и Северной Африки за счет

понижения уровня Средиземного моря. Для этого необходимо соорудить плотины в проливах Гибралтара и Дарданелл. Эти плотины изолировали бы Средиземное море от притока атлантических вод, и его уровень понижался бы за счет испарения со скоростью 1,5 м в год. Понижение уровня на 200 м освободило бы земли площадью 600 000 км². На оставшуюся площадь Средиземного моря, чтобы предотвратить дальнейшие потери от испарения, из Атлантики и Черного моря регулярно перепускались бы воды в объеме, равном испарению. При таком перепуске вод мощность гидроэлектростанций достигла бы 120 млн. квт. В некоторых кругах Западной Европы проект Зергеля до сих пор активно поддерживается, несмотря на крупнейшие его недостатки.

В Западной Германии даже создано специальное учреждение, институт «Атлантропы» по пропаганде проекта Р. Зергеля.

В Индии, Австралии, Объединенной Арабской Республике и в других странах, страдающих от засухи, разрабатываются и осуществляются крупные проекты по орошению земель.

Наряду с этим все чаще и чаще мысль человека обращается к тому, чтобы использовать для тепловой мелиорации климата морские течения. Возникают проекты и узколокальные, и крупнорегиональные, а в последние годы — даже планетарные. Проекты эти касались разных акваторий.

Атлантический сектор

Как мы уже знаем, вдоль восточных берегов США проходят два крупных океанических течения—теплое Гольфстрим с юга на север и холодное Лабрадорское с севера на юг. Холодное течение под влиянием вращения Земли отклоняется вправо и спускается на юг между северо-восточным берегом США и Гольфстримом, образуя между ними «холодную стену». Разница температур между водами «холодной стены» и Гольфстримом достигает 20°. Влияние холодных вод на побережье сказывается до 1500 км южнее залива св. Лаврентия. В целях улучшения термики северо-восточного побережья США предлагались следующие проекты.

В конце 70-х годов Дж. Гудридж предложил перекрыть пролив Белл Айл глухой плотиной. Вход холодных вод в залив св. Лаврентия был бы закрыт, и эта мера, по расчетам автора, исключила бы их холодное влияние на значительный участок восточного побережья США.

В 90-х годах прошлого века инженерами фирмы «Элли Слопер» было предложено перекрыть Флоридский пролив, а теплым водам из Мексиканского залива открыть путь через канал, который надо было бы прорыть в основании полуострова Флориды. Эти воды, по мнению инженеров фирмы, нейтрализовали бы влияние встречного холодного течения. Правительство США утвердило проект, но он был подвергнут уничтожающей критике известным климатологом Кеппеном.

Ливингстон Ройкер выдвинул идею «отсрочить» встречу Гольфстрима и Лабрадора. Для этого место их встречи надо отодвинуть на 400 км в востоку, что снизило бы влияние Лабрадора на охлаждение берегов США. Перенос места встречи Лабрадора с Гольфстримом могла бы выполнить 400-километровая дамба на отмели Ньюфаундлендской банки, ориентированная в восточном направлении. Предполагалось, что это мероприятие увеличило бы и теплосодержание вод Гольфстрима, входящих в Арктический бассейн, а это в свою очередь сначала снизило бы, а потом в отдаленном будущем и уничтожило бы ледяной покров Северного Ледовитого океана.

В 1955 г. Ф. Смолл предложил освободить от льда залив св. Лаврентия путем подъема на поверхность глубинных теплых атлантических вод. Последнее, по мысли автора, могло быть достигнуто воздушным барбатажем или наклонными плоскостями для использования кинетической энергии теплых струй. Автор рассчитывает. что его проект найдет применение в ряде мест северных широт вплоть до Арктического бассейна.

В последние годы К. Ружерон предлагал перекрыть плотинами некоторые проливы в Канадском арктическом архипелаге с тем, чтобы преградить доступ холодных вод и льда из Арктического бассейна в Баффинов залив. В этом случае задержанный сток, по мнению автора, будет сходить через Берингов пролив в Тихий океан.

Средняя (январская) температура в Гудзоновом заливе поднимется от —25 до 0°. Освободятся от льда Великие озера и залив св. Лаврентия. На обширных пространствах Канады и северной части США холодный климат будет существенно смягчен.

В 1959 г. Ружерон выступил с идеей перекрытия пролива Девиса (350 км). В этом случае атлантические воды проникли бы в проливы Канадского арктического архипелага, канадские воды полностью освободились от льда, суровый климат Северной Канады был бы смягчен и стал напоминать климат Западной Европы.

Тихоокеанский сектор

Одним из первых проектов по улучшению климата Дальнего Востока и прилегающих областей является проект постройки плотины в Беринговом проливе. Проект был впервые предложен в конце прошлого столетия и, по свидетельству академика П. П. Лазарева, к нему возвращались. неоднократно, выдвигая разные варианты использования Берингова пролива.

Первоначальная цель — прекратить сток холодных вод и льда из Арктического бассейна, так как в то время считалось, что именно этот сток делает Камчатское течение холодным, а оно в свою очередь транспортирует арктический холод в Курильское течение (Ойя-Сиво). Считалось также, что эти холодные течения больше всего охлаждают и наше Приморье, Японские острова и вообще значительную часть восточного побережья Азии. Позже выяснилось, что влияние стока арктических вод на климат восточного побережья крайне незначительно и что относительно теплые воды поступают из Тихого океана в Арктический бассейн. И тогда проект сооружения плотины в Беринговом проливе в корне переосмыслили, плотине было придано новое назначение, прямо противоположное предыдущему. Она должна была прекратить сток теплых тихоокеанских вод в Чукотское море и этим улучшить теплообеспеченность Берингова моря и окружающих пространств. Но оказалось, что и влияние относительно теплых в летний период тихоокеанских вод преувеличено. Оно чувствительно лишь в южной части Чукотского моря.

В 1898 г. Фр. Нансен высказал соображение о том, что если бы сечение Берингова пролива было более широким и более глубоким, то далекое северное продолжение теплого течения Куросио, проходящее через него, получило бы больше простора, обрело бо́льшую мощность и дало столько тепла, что «разница между климатами на севере и на юге стала бы несколько менее резкой, чем теперь».

Такой климатический прогноз авторитетнейшего знатока природы арктических стран оживил интерес к проекту. Главное направление мысли было — как искусственно повысить объем тепла в тихоокеанских водах, поступающих в Арктический бассейн?

Профессор Калифорнийского университета Д. Уайт предложил подогревать тихоокеанские воды, поступающие в Берингов пролив, на атомных установках, инженер А. И. Шумилин — комплексно использовать Берингов пролив: прежде всего путем механической перекачки усилить естественный поток тихоокеанских вод через Берингов пролив и этим смягчить климат советской Азии и Северной Америки, а попутно и одновременно проложить через плотину железную дорогу, соединяющую Чукотку и Аляску.

Другие проекты имели характер более частный, но все они диктовались одним — привлечь теплые воды Куросио и улучшить тепловой режим северо-востока азиатского материка.

И. Касаткин в 1891 г. предлагал построить глухую плотину в Татарском проливе, чтобы помешать холодному течению, идущему из холодного Охотского моря, охлаждать побережье от устья Амура до Владивостока. По соображениям автора, это повлияет благотворно на климат побережья между Татарским проливом и хребтом Сихотэ-Алинь, а Владивосток может сделаться вполне незамерзающим портом. Но позже выяснилось, что такого холодного течения нет, и проект отпал.

Тогда появились идеи привлечь теплые воды Японского моря в Охотское и тоже с помощью плотины в Татарском проливе. Предполагалось, например (автор проекта Н. Г. Романов), с помощью специальных шандор, или затворов, перекачивать теплую воду нагонно-приливного течения. Затворы открываются при приливах или нагонах с юга на север, пропуская, таким образом, теплые воды

из Японского моря в Охотское, а при обратном ходе воды затворы закрываются. Но расчеты показали, что эффект будет недостаточным.

Инженер Н. М. Будталаев предложил оснастить плотину перекачивающими устройствами, которые увеличили бы переброску вод с юга на север.

Другой способ привлечь в Охотское море теплые воды представили Н. А. Белинский и А. В. Труфанов — прорыть у основания Камчатского полуострова 100-километровый канал (между Пенжинским заливом и Беринговым морем). Это, по расчетам авторов, вызвало бы непрерывный ток воды из Охотского моря в Берингово, а этот ток усилил бы поступление тихоокеанских теплых вод, в том числе и вод Куросио, поступающих в Охотское море через проливы, начиная с Лаперуза и кончая Северо-Курильскими. Как предполагают авторы, это резко улучшило бы климат морей Дальнего Востока и их побережий.

Наконец, в 1962 г. П. И. Колосков развил ранее выдвинутую им идею о повороте нижнего участка Амура в направлении озера Кизи и далее к бухте Таба, предусматривающую потепление прилегающей территории.

Но все эти меры касались главным образом некоторого потепления на Востоке. Судьба Арктического бассейна затрагивалась лишь попутно.

Существуют, однако, идеи, прямая цель которых — утеплить Северный Ледовитый океан.

Советский капитан дальнего плавания Е. С. Гернет в 1930 г. предлагал уничтожить ледяной щит Гренландии, что якобы повлечет за собой уничтожение ледяного покрова Арктики. По мнению начальника одной из американских дрейфующих станций Д. Флетчера, улучшить климат Полярного бассейна и граничащих с ним стран можно с помощью искусственного рассеивания облачности над Ледовитым океаном (в течение летнего периода). Г. Векслер (Бюро погоды США) считает необходимым снизить инфракрасное излучение Северного Ледовитого океана, а для этого с помощью взрыва чистых водородных бомб надо искусственно повысить влагосодержание воздуха над Арктическим бассейном.

М. И. Будыко предложил следующие пути уничтожения ледяного покрова Арктики: покрыть поверхность льда на один или два года тонким слоем темного порошка, что увеличит поглощение солнечной радиации и растопит ледяной покров; покрыть поверхность воды Северной Атлантики или в арктических морях, свободных от льдов, мономолекулярной пленкой, что может существенно повлиять на термический режим воды и воздуха в Арктике за счет снижения расхода радиационного тепла на испарение.

В одной из последующих работ М. И. Будыко считает целесообразным совместное применение мономолекулярной пленки и рассеивание облаков, а также культивирование особых водорослей, живущих на льду. Последнее мероприятие, как и покрытие льда темными порошками, ведет к уменьшению альбедо и ускорению таяния ледяных полей.

В. Н. Степанов, профессор Института океанологии АН СССР, предложил в 1963 г. путем подводных взрывных работ снизить высоту порога Томсона между Шетландскими и Фарерскими островами. Такое увеличение живого сечения проливов, по мнению автора, повысило бы приток теплых атлантических вод в Арктический бассейн настолько, что теплые воды частично снизили бы мощность дрейфующих льдов.

Были идеи использовать теплые воды Нордкапского течения (В. Н. Авдеев, В. П. Пьянков и др.). И все же удовлетворительного решения пока не найдено. Авторы проектов рассматривают только отдельные стороны проблемы в то время, как ее надо решать комплексно — с позиций безопасности, технологичности, конструктивности, экономичности, надежности климатического прогноза и т. д.

Но можно ли говорить о безопасности, когда речь идет о водородной бомбе? Как бы ни были «чисты» водородные бомбы, применение их в большом количестве (а географические и гидрологические особенности Арктического бассейна потребуют именно большого количества и частого применения) не может быть безопасным.

Технология предлагаемого процесса должна быть реально осуществимой, должна отвечать жестким требованиям практичности. Но мономолекулярная пленка в условиях открытого океана не может удержаться на морской поверхности устойчиво и без разрывов, сплошным и прочным покровом. Она легко рвется и за относи-

тельно короткое время полностью сдувается ветрами. Это хорошо доказано и в опытных бассейнах и в природных условиях. Напомним об одном печальном событии, подтвердившем это на практике. 18 марта 1967 г. близ полуострова Корнуэлл (Великобритания) танкер «Торри Каньен» со 100 000 т нефти раскололся на две части и затонул. Поверхность моря покрылась нефтью, которая и создала пленку, аналогичную проектируемой. Но пленку эту довольно быстро разнесло ветром, разорвало волнами. Часть нефти отнесло на юго-запад в открытый океан, часть к побережью Франции. Через две недели на полуострове Бретань начали гибнуть морская птица, рыба, устрицы. Хозяйству местного населения был нанесен большой ущерб.

Аналогичный случай произошел в 1957 г., когда танкер «Тампико» потерпел аварию и 10 000 т дизельного топлива были разлиты по поверхности океана. Словом, поддержание пленки на больших акваториях хотя теоретически возможно, но практически представляет непреодолимые *технические трудности*.

Более того, предлагая конструктивное решение, надо думать о том, готовы ли мы технически его осуществить, по силам ли это современной строительной индустрии, достаточно ли мощна для этого современная энерговооруженность. Чтобы углубить порог Томсона в наиболее выгодном для этого месте — между Фарерскими и Шетландскими островами, как предлагает один из проектов, необходимо переместить минимум 3000—5000 км^3 плотного грунта на расстояние не меньше 25—30 км. В условиях полукилометровой глубины это сейчас не под силу, даже применив атомную взрывную технику. Кроме того, здесь есть еще один крупный конструктивный дефект — мы полностью будем лишены возможности регулировать процесс поступления теплых вод. Если зональная составляющая общей циркуляции атмосферы возрастет, то Полярный бассейн будет охлаждаться почти с прежней мерой.

Следует учитывать и экономические вопросы, хотя на фоне всех остальных они более просты, поскольку улучшение климата даст огромные выгоды. Тем не менее приходится думать об объеме единовременных капиталовложений и последующих эксплуатационных расходах, о том, насколько быстро будет реализован проект и как

скоро будет достигнут эффект. Проект Ливингстона Ройкера, например, не выдерживает критики с этих точек зрения.

Но все эти соображения, как бы серьезны они ни были, являются предварительными. Основной же вопрос — насколько последующие климатические изменения будут соответствовать задуманному плану, насколько надежным и в разумных пределах будет потепление. То есть главное — прогноз будущего климата. Из всех современных методов прогноза наиболее надежен тот, который строится на палеогеографических данных, т. е. опирается на многомиллионнолетний опыт климатических изменений прошлого на нашей планете.

Как мы видели в предыдущих главах, палеогеографические и геологические исследования свидетельствуют о том, что в четвертичный период климатические и экологические изменения происходили с достаточной частотой и с четкой обратимостью. Однако все эти изменения, какими бы продолжительными они ни были и как ни разнообразны были их амплитуды, и по времени, и по значению прямо зависят от морской адвекции тепла в Северный Ледовитый океан и в его Арктический бассейн. Поэтому надежны те проекты, которые опираются на поступление тепла с атлантическими водами в Арктический бассейн, и прогнозы климата связывают с ростом их теплосодержания.

Пока улучшение климата не будет надежно гарантировано, ни одно государство не начнет осуществлять планетарные преобразования. К тому же надо думать о том, чтобы улучшение климата в одной области не привело к ухудшению его в других областях земного шара. Изменения в растительном и животном мире должны происходить плавно, без болезненных скачков. Этот процесс необходимо надежно регулировать, маневрируя так, чтобы не нанести урона природе, чтобы не повредить сложнейший механизм взаимодействия всех ее составляющих.

Страны, заинтересованные в улучшении климата, технически и энергетически вооружены сейчас настолько, что уже могут приступить к улучшению климата в планетарном масштабе, соблюдая при этом все перечисленные условия.

Путь преобразования заключается в следующем.

Надо создать прямоток теплых атлантических вод через Арктический бассейн в Тихий океан с тем, чтобы одновременно освободить их от губительного охлаждения полярными водами. В этом случае северные ветви Гольфстрима получат зеленую улицу к полюсу и далее через Чукотское и Берингово моря в Тихий океан. В Беринговом море и смежной части Тихого океана воды Гольфстрима как более соленые, а потому и более плотные будут уходить на юг глубинными течениями. В дальнейшем с потеплением Арктики температура их станет выше современной температуры северной части Тихого океана и они будут уходить на юг как поверхностное течение и сольются с теплыми водами северного продолжения Куросио.

Возможно ли создание Полярного Гольфстрима?

Особую роль играет поверхность моря. Ее температуру, по-видимому, можно было бы менять посредством крупных гидротехнических сооружений, которые отклоняли бы морские течения. Это, пожалуй, наиболее реальное вмешательство в климатообразующие процессы планетарного характера.

Е. К. Федоров

Для выяснения возможности создания Полярного Гольфстрима необходимо ознакомиться с основными океанографическими материалами по отдельным акваториям северной области Мирового океана: водными и тепловыми балансами, характеристикой водных масс, их стратификацией и динамикой, ледяным покровом и др.

Знакомство начнем с Северного Ледовитого океана и его Арктического бассейна. Здесь нам помогут материалы Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, который на протяжении многих лет обстоятельно изучает эту часть Мирового океана. По его данным, в Северный Ледовитый океан ежегодно вливается 338 000 км^3 различных вод, в том числе из Атлантики через Фареро-Шетландский пролив — 298 000 км^3, из Тихого океана через Берингов пролив — 36 000 и речной сток — 4000 км^3. Осадки в виде снега и дождя мы не учитываем, считая, что испарение компенсирует осадки. Поскольку уровень в океане остается постоянным, то, естественно, такое же количество воды стекает из океана. Сток происходит по следующим каналам: через Фареро-Шетландский пролив (встречное течение) — 163 000 км^3, через Датский пролив — 135 000 и через проливы Канадского архипелага — 40 000 км^3.

Но хотя поступившая вода в равном объеме уходит обратно, это вовсе не значит, что обмен проходит вхолостую. Одно из главных приобретений, которые делает Северный Ледовитый океан благодаря обмену, — тепло. Вода, поступив и покинув Ледовитый океан, оставляет свое тепло. При этом атлантические воды приносят 1922×10^{15} ккал в год, а тихоокеанские — 26×10^{15} ккал, т. е. Атлантика дает 98,7% тепла, а Тихий океан — 1,3%. Иначе говоря, вклад Атлантики в отепление Северного Ледовитого океана в 73 раза больше вклада Тихого океана.

Поступившее тепло расходуется следующим образом: в пределах Норвежского и Гренландского морей $1410\times\times10^{15}$ ккал (71%); в пределах Баренцевого моря $291\times\times10^{15}$ ккал (16%), в пределах Арктического бассейна 247×10^{15} ккал (13%).

Однако тепло, которое отдают морские течения Северному Ледовитому океану, меньше этой цифры. Так, часть тепла уносят обратно в Атлантику те теплые атлантические воды, которые подстилают холодные распресненные воды Восточно-Гренландского течения, уходящие через Датский пролив. Главные же растратчики тепла — воды, стекающие с севера на юг через западную половину Фареро-Шетландского пролива. Это те самые 163 000 км³, которые больше чем вдвое снижали щедрый дар, посылаемый теплой Атлантикой в Ледовитый океан через Фареро-Шетландский пролив. Если принять среднюю температуру равной 4°, то в Атлантику возвращается неиспользованными около 700×10^{15} ккал/год. В результате этих обратных возвращений Северный Ледовитый океан фактически получает тепла примерно на одну треть меньше, чем поступает в его пределы первоначально.

Надо при этом заметить, что Европейский бассейн Северного Ледовитого океана (Гренландское, Норвежское и Баренцево моря) поглощает 87% атлантического тепла, а Арктический — только 13%, хотя площадь Европейского бассейна вдвое меньше Арктического. Происходит это из-за противотока теплых и холодных течений. Если бы атлантические воды были освобождены от встречи с холодными, т. е. шли бы прямотоком к полюсу и далее в притихоокеанский сектор, то тогда потери тепла были бы резко снижены.

Освободить атлантические воды от охлаждения их встречными холодными водами можно, если только их

сток направить в Тихий океан и не давать им стекать обратно в Атлантику, как это имеет место при современном водообмене. Объем же стока (тыс. км³/год) можно определить из водного баланса бассейна:

Приход		Расход	
Атлантические воды	135	Сток в Европейский бассейн	135
Тихоокеанские воды	36	Сток в Баффинов залив	40
Береговой сток	4	Сток в Берингово море	0
Осадки = испарению	—	Испарение = осадкам	—
Баланс	175	Баланс	175

Если возвести плотину в Беринговом проливе, поступление тихоокеанских вод будет исключено. Тогда для освобождения атлантических вод от охлаждения их арктическими потребуется перекачивать из Чукотского моря в Тихий океан 139 000 км³ воды в год.

Средняя температура атлантических вод, поступающих в Арктический бассейн, не велика — 1,9°, температура же тихоокеанских еще ниже, примерно 0,8°. Отсюда теплосодержание первых составляет 256×10^{15} ккал, а тихоокеанских всего лишь 26×10^{15} ккал, т. е. в 10 раз меньше.

Из баланса видно, что поступление атлантических вод почти в четыре раза превышает поступление тихоокеанских. Поэтому справедливо считать, что воды Арктического бассейна являются трансформированными водами Атлантики и что Арктический бассейн по существу является далеким и холодным заливом теплой Атлантики.

На все происходящее в Северном Ледовитом океане и на его границах с Атлантикой и Тихим океаном мы смотрели до сих пор как бы сверху. Мы видели, откуда и куда идут течения, каковы их мощность по объему воды и теплосодержание. Для создания Полярного Гольфстрима все это необходимо, но еще недостаточно. Ведь Арктический бассейн, как, впрочем, и другие крупные бассейны Мирового океана, заполнен далеко не однородной водой. Любая водная масса имеет свой характер, свои океанологические особенности. Поэтому нам необходимо точно знать основные индексы (температуры, солености, плотности) для каждой из них, причем для всех важнейших областей бассейна как по горизонтали, так и по вертикали; выяснить, как и где водные массы располагаются друг относительно друга, т. е. установить их стратификацию.

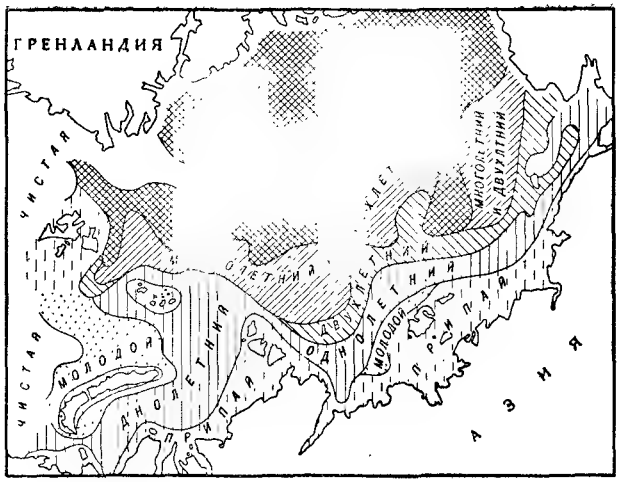


Рис. 16. Состояние льдов в Центральной Арктике в апреле-мае 1956 г. (по А. Ф. Лактионову и В. А. Шамотьеву)

Для этого нам придется опускаться в глубину на все его горизонты, вплоть до дна, чтобы разглядеть все эти сложные взаимодействия по всей толще воды. Теперь будут важны и большие горизонтальные дистанции и длительные глубоководные погружения.

Северный Ледовитый океан занимает площадь 13,1 млн. км^2, в том числе Арктический бассейн — 8,75 млн. км^2. Ледяной покров охватывает зимой площадь до 11 млн. км^2, причем поверхность Арктического бассейна покрыта льдом полностью. Летом ледяной покров сокращается до 8—9 млн. км^2 и то преимущественно за счет Европейского бассейна и Баффинова залива, а не за счет Арктического бассейна, где это сокращение незначительно и происходит главным образом за счет прибрежной зоны окраинных морей.

Если средняя мощность ледяного покрова составляет примерно 2,75 м, то общая масса морского льда — 25 000 км^3. Летом стаивает приблизительно 20% этого объема, т. е. 5000 км^3 и, кроме того, в Гренландское море и частично в Баффинов залив выносится приблизительно 3000 — 4000 км^3.

Если мы взглянем на рис. 16, то увидим, как обычно на поверхности Арктического бассейна размещаются льды в конце зимнего сезона.

Представление же о стратификации водных масс в бассейне дает табл. 6.

Таблица 6

Характеристика водных масс в центральной части Арктического бассейна (по В. Т. Тимофееву)

Наименование вод	Мощность, м	Объем, тыс. км^3	Температура, °С	Соленость, ‰	Плотность, σ_t
Арктическая поверхностная	64	321	—1,75	30,00	1024,5
Промежуточная верхняя	172	864	—1,75	34,60	27,8
Атлантическая	630	2738	1,50	34,90	27,9
Промежуточная нижняя	1932	4540	—0,40	34,93	28,0
Донная	2202	2454	—0,80	34,96	28,1

Первый слой воды на огромном пространстве от Шпицбергена до Чукотского моря — это **арктическая поверхностная вода.** Ее происхождение разнообразно. Она представляет собой смесь вод окраинных морей, распресненных речным стоком, здесь присутствуют также и тихоокеанские воды и воды, образующиеся от таяния снега и дрейфующих льдов. Здесь же и атмосферные осадки, оседающие на поверхность в виде дождя, снега, изморози. Средняя мощность поверхностных вод различна. В притихоокеанском секторе нам пришлось бы погрузиться до глубины 82 м; в приатлантическом мощность падает до 30 м и меньше, вплоть до выклинивания. Средняя температура по вертикали близка к —1,7°, зато соленость очень низкая — 30,00‰, что собственно и обеспечивает ей наименьшую плотность, а с ней безраздельное господство по всей поверхности бассейна.

Вместе с ледяным покровом поверхностные воды перемещаются с более холодного востока на более теплый запад. Это генеральное направление их движения. Причем на 70% движение вод и льда в направлении Гренландского моря и Баффинова залива определяется силой

стока, а на 30% их гонит сила ветра. Наибольшая скорость развивается в самом верхнем слое бассейна, но чем глубже, тем движение становится медленнее, и если опуститься на глубину 100—200 м, то здесь уже никакого движения не будет чувствоваться.

Впрочем, здесь мы уже нарушили границы и опустились ниже поверхностного слоя в следующую за ним по вертикали **промежуточную верхнюю воду.** Заметно становится теплее. Температура повышается от —1,7° до 0°, соленость до 34,6‰. Этот слой представляет собой смесь поверхностных вод с подстилающими теплыми атлантическими водами. В притихоокеанском секторе мощность этого слоя доходит до 190 м, а в приатлантическом до 150 м.

Глубже по вертикали идет слой **атлантической воды,** которая и приносит тепло. Естественно, что в этом слое температура повышается заметно. В Арктический бассейн атлантическая вода, как мы видели, вступает с средней температурой 1,9°. В стрежне она выше 2—3°, но по мере своего продвижения на восток охлаждается, и в притихоокеанском секторе на той же приблизительно глубине мы обнаружим только 0,5—0,6° (рис. 17). На своих же верхних и нижних границах температура уменьшается до 0°. Соленость этого слоя по сравнению с перекрывающей водной массой увеличивается ненамного — до 34,9‰, т. е. всего лишь на 0,3‰.

В Арктический бассейн атлантическая вода поступает со Шпицбергенским течением. Минуя пролив Шпицберген-Гренландия, она веерообразно растекается и одновременно погружается в более низкие горизонты. Это погружение теплых вод под холодные играет очень важную роль в формировании глобального климата.

Чем глубже мы опускаемся, проходя насквозь один слой за другим, тем плотнее становится вода. Морские водные массы располагаются по вертикали в строгом соответствии со своими плотностями. Здесь тщательно соблюдается иерархия. Плотность зависит от солености и температуры: чем выше соленость и ниже температура водной массы, тем тяжелее она оказывается, и эта тяжесть тянет ее на более низкие горизонты. Наоборот, чем меньше в ней соли и чем она теплее, тем становится легче, что позволяет ей располагаться ближе к поверхности. Арктические поверхностные воды, хотя и холоднее теплых

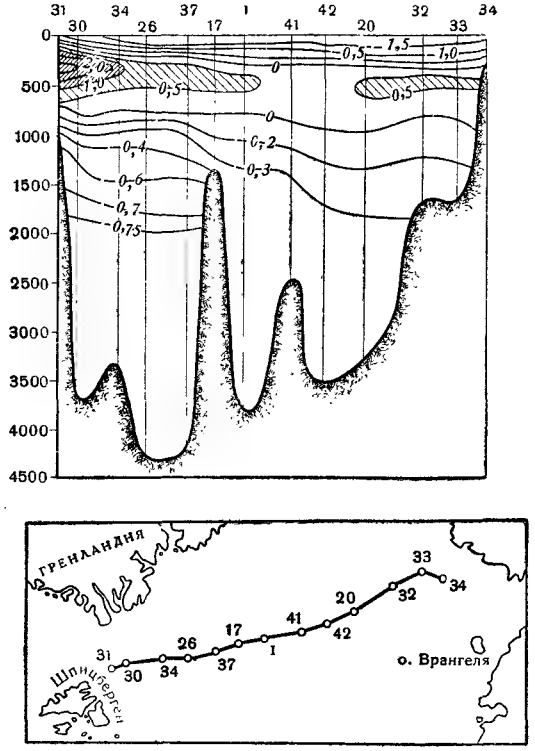


Рис. 17. Распределение водных масс на разрезе Шпицберген—Чукотское море (по В. Т. Тимофееву)

атлантических (их температура —1,75°), все же оказались более легкими, потому что соленость их очень низка — 30‰. Относительно малая соленость позволила им «всплыть» на самый верх. У атлантических же вод, хотя они и теплее арктических, соленость больше (34,9‰), эта соль утяжеляет их и тянет вниз, как бы топит.

На рис. 18 продемонстрирована эта иерархия вод. Поверхностные арктические холодные воды защищают громоздящийся над ними ледяной покров от тепла, которое приносят атлантические воды. Они «стараются» не пропустить это тепло и таким образом спасают ледяной покров от таяния. А это в свою очередь и делает климат

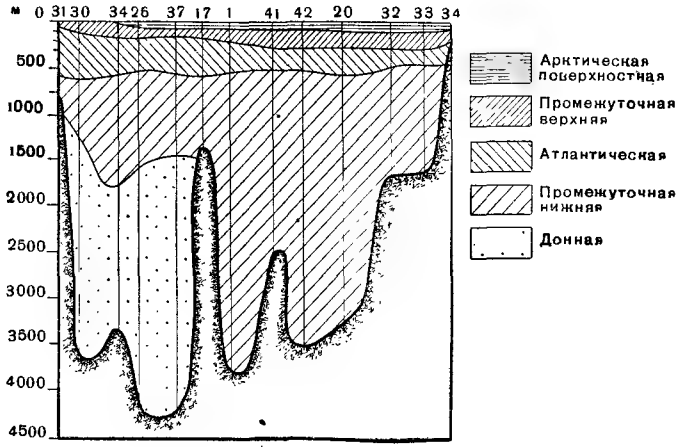


Рис. 18. Распределение водных масс на разрезе Шпицберген—Чукотское море (по В. Т. Тимофееву). Положение разреза см. рис. 17.

Арктики особенно суровым. Не будь этого поверхностного холодного слоя, теплые воды поднялись бы, «всплыли», добрались бы до ледяного покрова и растопили его. Теплое Шпицбергенское течение продолжало бы свой путь к полюсу и дальше, но не в глубинных горизонтах, как сейчас, а на поверхности, что неизмеримо расширило бы его влияние, помогло бы создать Полярный Гольфстрим.

Верхняя граница атлантической воды с температурой 0° погружается в приатлантическом секторе на глубину до 180 м, а в притихоокеанском секторе — до 200—300 м. На материковом склоне эта глубина уменьшается до 150 м, поскольку здесь — ближе к берегу — дно поднимается. Мощность слоя атлантических вод в приатлантическом секторе 650—750 м, но по мере продвижения на восток эти воды в пути рассеиваются, теряют тепло, превращаясь тем самым в верхнюю и нижнюю промежуточные воды. До Чукотского моря доходит, не растратив своей положительной температуры, сравнительно небольшой слой воды — 150—200 м. Потеряно, таким образом, больше, чем две трети.

Что же происходит с этими идущими по глубине, опустившимися теплыми атлантическими водами? Под влиянием отклоняющей силы Кориолиса основная масса этих вод прижимается к материковому склону Евразии и, скользя вдоль него, направляется к Чукотскому морю (рис. 19). Другая часть атлантических вод, не успевая пройти вдоль склона, непрерывно растекается влево по ходу и, описывая полуокружность, уходит обратно в Гренландское море. Такой же разворот налево от евразийского материка делают и те остатки теплых вод, которым удается добраться до Чукотского моря.

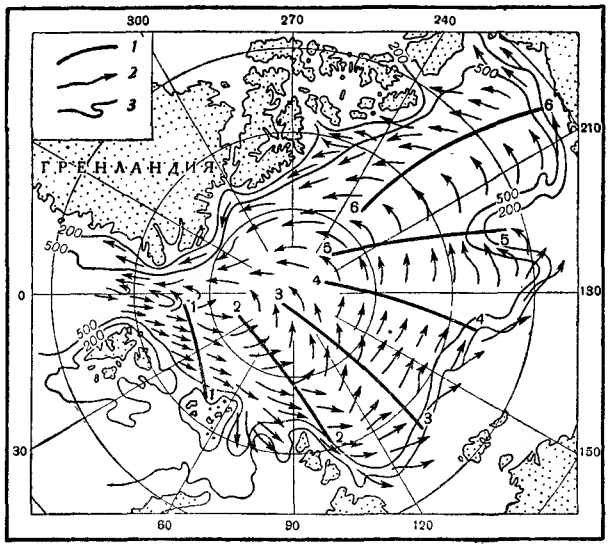


Рис. 19. Схема движения атлантических вод в центральной части Арктического бассейна (по В. Т. Тимофееву)
1 — изолинии времени;
2 — направление движения;
3 — изобаты 200 и 500 м

Путь от Шпицбергена до Карского моря атлантические воды проходят за полтора года, до моря Лаптевых — за два с половиной, до Восточно-Сибирского — за четыре, до Чукотского — за пять, до Бофорта — за шесть лет. На то, чтобы полностью описать евразийский и американский материковые склоны и вернуться в Европейский бассейн, атлантические воды затрачивают восемь лет.

Здесь небезынтересно вспомнить эпизоды из жизни «седовцев» во время их трехлетнего дрейфа в Арктическом бассейне. Иногда у них замерзали шланги и превращались в почти несгибаемые. В целях экономии топлива на оттаивание, они зимой в Центральной Арктике опускали их на тросе на глубину свыше 200 м, где температура была около 2°. Через сутки шланги вытаскивали на борт совершенно оттаявшими. Так полярники пользовались реальным физическим теплом, доставленным из-под экватора теплыми морскими течениями.

Следует вспомнить и другой, прямо противоположный случай. Как известно, даже под экватором температура придонного слоя воды лишь на 1,5—2,0° выше нуля. Около 100 лет назад (холодильников тогда не было) офицеры первой крупной океанографической экспедиции трехмачтового корвета «Челленджер» в тропическую жару пользовались этой водой, а также илом со дна океана для того, чтобы охлаждать шампанское. Такая холодная вода, как мы уже видели, может попасть сюда только из полярных областей: там она погружается на максимальные глубины и течет к экватору.

Если мы пройдем насквозь слой теплых атлантических вод, то очутимся в воде, которая называется **нижней промежуточной холодной водой.** Температура здесь упадет от 0 до —0,4°, а соленость возрастет до 34,93‰. В приатлантическом секторе промежуточная нижняя вода находится на глубине 800 м, и чтобы добраться до ее нижней границы, надо опуститься до 1500—2000 м. В притихоокеанском секторе мы найдем эту воду несколько раньше, уже на глубине 700 м, начиная с которой вода заполняет всю котловину до дна, а потому одновременно является и донной водой.

«Последняя» по ходу нашего погружения — **донная вода.** В приатлантическом секторе ее температура —0,8—0,85°, а соленость на всем протяжении слоя почти одинаковая — 34,96‰.

Так расселяются в Арктическом бассейне теплые атлантические воды, среди перекрывающих и подстилающих горизонтов.

А что происходит с тихоокеанскими водами? Как складывается их судьба в Арктическом бассейне?

Как уже говорилось, тихоокеанских вод поступает в бассейн сравнительно немного — 36 000 км³ в год.

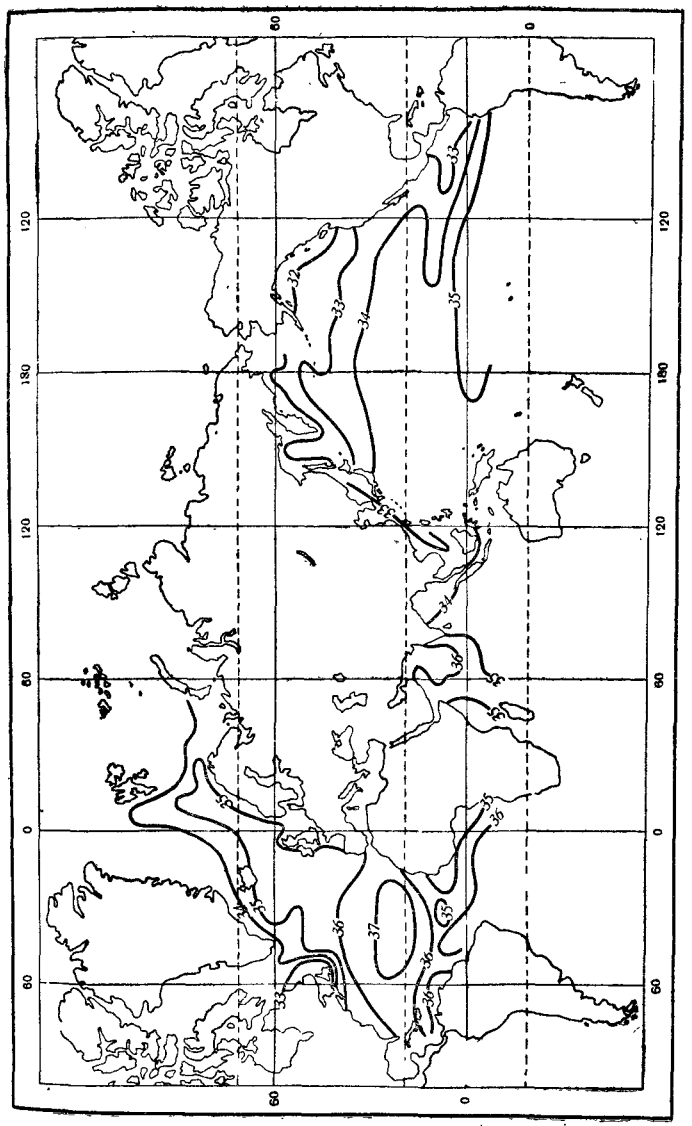


Рис. 20. Соленость поверхностных вод Атлантического и Тихого океанов в августе (по В. С. Назарову и А. М. Муромцеву)

Если эту воду равномерно распределить по всей поверхности бассейна Северного Ледовитого океана, то получится довольно тонкий слой — 4 м. Когда тихоокеанская вода вступает в Чукотское море, ее среднегодовая температура немного ниже 1°, а соленость около 32‰ (рис. 20). Эта относительно низкая соленость делает тихоокеанскую воду легкой. Поэтому она господствует не на глубине, подобно атлантической воде, а располагается наверху, участвуя в формировании поверхностного распресненного слоя. Выйдя из Чукотского моря, тихоокеанская вода, поскольку плотность ее сравнительно невелика, «прописывается» на небольшой глубине — 50—100 м от поверхности. Распространяясь по всей поверхности бассейна, тихоокеанская вода помогает поверхностным водам создать тот щит, который спасает ледяной покров от идущего снизу тепла атлантических вод. Следовательно, она в конечном итоге работает на холод, а не на тепло.

Как же взаимодействуют все эти водные массы, каждая из которых имеет свой характер, свое местообитание и свой маршрут в общем круговороте вод?

Надо сказать, что водные массы достаточно устойчивы. В недрах бассейна они перемещаются не хаотически, а как бы скользят между своими изопикническими (равной плотности) поверхностями. Различная плотность, как уже говорилось, не позволяет водным массам бесконтрольно перемещаться по вертикали, она довольно четко расслаивает их, определяя каждой свой горизонт. С окружающими же водами каждый слой, конечно, смешивается, но только отчасти.

На рис. 18 можно увидеть, как распределяются и трансформируются водные массы. Например, слой арктической поверхностной воды, который движется с востока на запад, миновав район полюса, начинает уменьшаться, как бы образуя клин, и за широтой 85° полностью исчезает.

Происходит это потому, что, продвигаясь на запад, слой постепенно перемешивается с подстилающей верхней промежуточной водой. В свою очередь слой теплой атлантической воды при перемещении с запада на восток тоже уменьшает свою мощность, поскольку она перемешивается с верхними и нижними промежуточными водами и при движении на холодный восток теряет тепло.

Важно, однако, подчеркнуть, что параметры водных масс, их соленость, теплосодержание, а следовательно, и плотность, не являются постоянными. В многолетнем и особенно в многовековом ходе они меняются. Если нагон вод увеличивается только в течение коротких периодов, то температура хотя и повышается, но незначительно, так как одновременно увеличивается обратный сток из Арктического бассейна в Атлантику. А этот сток состоит главным образом из холодных вод и арктического льда. Усилившись, он поглощает то добавочное тепло, которое несут умножившиеся атлантические воды.

Если же поступление атлантических вод увеличивается в течение продолжительного времени, то баланс тепла постепенно растет к явной невыгоде двух верхних слоев воды: арктической поверхностной и верхней промежуточной. Их мощность начинает снижаться, и как защитники ледяного покрова они слабеют. Ослабление защиты начинает сказываться на ледяном покрове, его мощность уменьшается, а в летнее время он чаще протаивает насквозь. Влияние теплых атлантических вод в Арктическом бассейне возрастает, и наступает общее потепление, как это происходило при современном потеплении Арктики. Если же нагон теплых атлантических вод возрастает еще больше, то ледяной покров может стать сезонным явлением — таять летом и восстанавливаться зимой, как это было в раннем средневековье. Наконец, нагон теплых атлантических вод можно увеличить до такой степени, что температура поверхностного слоя станет выше температуры замерзания даже в зимнее время. Такое явление произошло в неолите 4000—6000 лет назад.

Уже говорилось, что для утепления полярных широт требуется не столько уничтожить морские льды, сколько устранить две главные причины, их порождающие, — снять поверхностный распресненный слой Арктического бассейна, который, как крышкой, прикрывает тепло, идущее снизу от теплых атлантических вод, и значительно уменьшить охлаждающее влияние холодных Восточно-Гренландского и Лабрадорского течений на теплые течения системы Гольфстрима.

Как можно этого добиться?

Распресненный слой создают, как мы видели, три источника: береговой сток, поставляющий 4000 км³ воды; 36 000 км³ дает Тихий океан; 3000—5000 км³ пресных

вод получается в летнее время от таяния льдов. Если ледяной покров будет полностью ликвидирован, последний вклад отпадет сам собой. От тихоокеанских вод можно изолироваться, если перед входом в Арктический бассейн соорудить плотину, которая не будет пропускать их в Арктику. Эта же плотина имеет и другое назначение: через нее перебросятся воды из Чукотского моря в Берингово. Поскольку откачиваться будут в первую очередь наименее плотные, т. е. наиболее распресненные воды, то влияние берегового стока, который останется главным поставщиком опреснения, окажется сильно ослабленным.

Теперь надо преодолеть охлаждающее влияние арктических холодных вод на теплые воды системы Гольфстрима. Это влияние очень велико и чтобы в нем разобраться, нам надо снова внимательно вглядеться в карту морских течений Северной Атлантики (см. рис. 16).

На широте Нью-Йорка (39° северной широты) между Гольфстримом и восточным побережьем США вклиниваются холодные воды Кабота и Лабрадора. Объем холодных вод по мере удаления на север непрерывно возрастает, а температура их, естественно, понижается. Несмотря на встречно-параллельное движение теплых и холодных вод, охлаждение теплых происходит очень энергично, так как оба течения поверхностные.

В районе Ньюфаундленда Гольфстрим и основной поток Лабрадора встречаются под косым, почти прямым углом. Струи теплого и холодного течений, как пальцы рук, вплетаются друг в друга. Поэтому здесь царит пестрота температур. Если бы мы попробовали составить карту температур в месте встречи двух течений, то получили бы мозаику. Наблюдались случаи, когда одновременное измерение температуры с носа и кормы одного и того же небольшого корабля (расстояние около 60 м) давало разность температур 12,3°. На вертикали — еще более резкие скачки. В слое глубиной 16—20 м температура может меняться до 3° на метр (по вертикали). Гольфстрим теряет при этом столько тепла (порядка $1{,}5\times10^{18}$ ккал/г), что этим теплом можно было бы растопить все дрейфующие льды Арктики менее чем за один год.

По мере перемещения на север теплые воды подвергаются дальнейшему охлаждению. Как известно, температурная и энергетическая ось Гольфстрима проходит

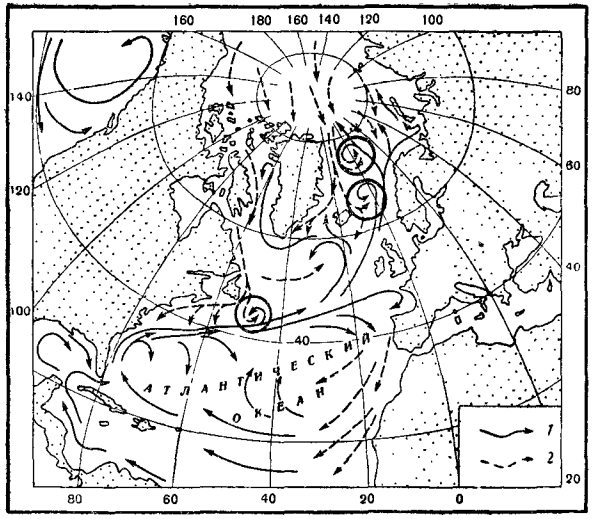


Рис. 21. Схема противотока теплых и холодных течений в Северной Атлантике
1 — теплые;
2 — холодные

вдоль его левого северного края, который на всей трассе течения соприкасается с наиболее холодными водами. В районе Лабрадорского моря наблюдается обширная циркуляция воды против часовой стрелки, порождаемая левыми струями всех главнейших течений — Лабрадора, Северо-Атлантического, Ирмингера, Восточно-Гренландского. В этой циркуляции, насыщенной местными круговоротами, также теряется большое количество тепла.

В пределах Европейского бассейна холодные струи Восточно-Гренландского течения также переплетаются с северными продолжениями системы Гольфстрима (рис. 21). В многочисленных круговоротах и столкновениях также теряется много тепла. Помимо этого, при западных ветрах ледяные поля и холодные распресненные воды Восточно-Гренландского течения плывут на теплые воды. Восточные же ветры, наоборот, гонят поверхностные, самые теплые воды на воды и льды холодного течения. В обоих случаях происходит контакт и перемешивание теплых и холодных вод с большой потерей тепла атлантическими водами, идущими в Арктический бассейн.

Воды теплого течения Ирмингера также энергично охлаждаются в ряде мест встречными холодными водами. Особо следует отметить правую ветвь Ирмингера, которая огибает Исландию с запада. Здесь она попадает в развилку Восточно-Гренландского течения, смешивается с его левой ветвью и теряется в водовороте. Контакт теплых и холодных струй столь тесен, что наблюдается изменение температур до 6° на метр по вертикали, т. е. больше, чем при переплетении струй Гольфстрима и Лабрадора в районе Ньюфаундленда.

Примером хаотического движения вод могут служить постоянные течения северной части Баренцева моря, где на площади примерно 600 000 км² отмечено 32 устойчивых циклонических и антициклонических круговорота; из них 27 — круглогодичные.

В условиях многочисленных описанных встреч теплых и холодных течений траектория движения воды чрезвычайно сложна. Так, частица тихоокеанской воды, пройдя Чукотское море и весь Арктический бассейн, уходит в Атлантику по трассе Восточно-Гренландского течения. Далее по трассе Западно-Гренландского течения она может подняться в северную область Баффинова залива и вновь спуститься на юг по трассе Лабрадора. От Ньюфаундленда она вместе с Северо-Атлантическим течением, а затем по трассам Норвежского и Шпицбергенского течений может вновь войти в Арктический бассейн и подо льдом вернуться к Чукотскому морю. Эта частица-«путешественница» на своем пути способна неоднократно повышать и понижать свою температуру за счет тепла и холода окружающих и встречных вод. Такая беспорядочность движения, естественно, снижает тепловую эффективность системы Гольфстрима, особенно в высоких широтах. Словом, вся океаническая область на северо-запад от линии Большая Ньюфаундлендская банка — Новая Земля напоминает резервуар-смеситель, в котором хорошо перемешиваются холодные воды Арктики с теплыми водами Гольфстрима.

Однако на всех своих трассах теплые течения теряют не только тепло, но и водные массы, а это еще больше снижает общее теплосодержание потока теплых вод.

В результате всех этих потерь до Северного Ледовитого океана доходит очень немного тепла Гольфстрима.

Гольфстрим добирается сюда истощенным. На 38° северной широты годовая мощность Гольфстрима 2 585 000 км³, а температура на поверхности в январе 18°. Когда же Гольфстрим под названием Северо-Атлантического течения входит в Северный Ледовитый океан через Фареро-Шетландский пролив, его мощность всего 298 000 км³ при теплосодержании 1922×10^{15} ккал. Средняя температура 6,5°, тогда как у берегов Флориды она была 20°. А на 61° северной широты мощность теплого течения составляет только 12% от той мощности, которая была на 30° северной широты.

В Арктический же бассейн попадают уже остатки остатков. На 81° северной широты в среднем поступает 135 000 км³ при средней температуре примерно 1,9° и при теплосодержании 250×10^{15} ккал. По сравнению с теми щедрыми дарами, которые расточал Гольфстрим на 38° северной широты, 81° получает лишь 5% теплых вод, а теплосодержание их составляет менее процента от того количества, которым располагала широта, близкая к Нью-Йорку.

Ч. Брукс, на выводы которого мы уже не раз ссылались, убедительно показал, как противоток теплых и холодных течений грабит тепло системы Гольфстрима и с какой стремительностью вследствие этого слабеет Гольфстрим по мере удаления на север. Брукс пишет: «Рассмотрение изотерм водной поверхности северной части Атлантического океана показывает, что январская температура вдоль осевой части Гольфстрима составляет 21,7° на 30° северной широты и 17,8° на 38° северной широты, понижаясь примерно на 0,5° на 1° широты. С другой стороны, между 38 и 43° северной широты (область смешения теплых вод Гольфстрима с холодными водами Лабрадора. — *П. Б.*) температура снижается примерно на 12,3° на протяжении всего лишь 5° широты. Из этого понижения только около 2,8° могут быть отнесены за счет нормального похолодания по мере приближения к полюсу. Остальные же 9,5° относятся за счет влияния холодного Лабрадорского течения. Следовательно, при отсутствии последнего на 75° северной широты и 10° восточной долготы вместо современной январской изотермы водной поверхности, отвечающей примерно 0° С, появилась бы изотерма 9,4°» [1].

[1] *Ч. Брукс.* Климаты прошлого. М., ИЛ, 1952, стр. 123.

Так встречные холодные течения мешают теплым течениям обогревать Арктику с той силой, на которую они первоначально были способны. Холодные воды и льды, уходящие из Арктического бассейна, убивают тепло, которое идет им навстречу. Естественно, поэтому возникает желание упорядочить систему теплых и холодных течений так, чтобы освободить теплые воды от этой ненужной и невыгодной для них встречи с холодными водами.

Куда же деть холодные воды с их упрямым движением на запад, в Атлантику — навстречу теплым? Пусть они идут не на запад, а на восток — в направлении, противоположном от главного, атлантического источника тепла. Охлажденные арктические воды надо искусственно сбрасывать в Тихий океан, точнее, в его северную окраинную вотчину — в Беринго́во море. Тогда получится не противоток теплых и холодных вод, а прямоток теплых. Теплые атлантические воды потекут через Арктический бассейн в Беринго́во море и далее в Тихий океан; они будут лишены возможности повернуть, как прежде, обратно в Атлантику, чтобы помешать новому, «молодому» теплу вступать в Северный Ледовитый океан.

Маршрут этого прямотока будет, следовательно, такой: Северная Атлантика — Европейский и Арктический бассейны Северного Ледовитого океана — Беринго́во море — Тихий океан.

На этом маршруте прямоток устранит одновременно две главнейшие и решающие причины, благодаря которым зарождаются и существуют дрейфующие льды в полярных широтах. Во-первых, устранено будет самоохлаждение атлантических вод в Северной Атлантике и Северо-Европейском бассейне. И, во-вторых, прямоток уничтожит, как бы снимет легкие распресненные поверхностные воды Арктического бассейна. А ведь именно эти воды, как мы видели, и легче поддаются замерзанию (из них формируется и ледяной покров из дрейфующих льдов), и, кроме того, они не пропускают тепло, идущее снизу.

Но чтобы обратить воды вспять, чтобы противоток превратить в прямоток, нужна сила, которая помешает водам повернуть обратно на запад, как это происходит сейчас. Для этого в Беринговом проливе надо возвести гидротехнические сооружения с насосными системами с тем, чтобы они перебрасывали воды из Арктического

бассейна в Тихий океан. При прямотоке изменится сама рецептура вод, циркулирующих в арктическом котле. Тихоокеанской воды здесь уже не будет — Берингова плотина 36 000 км³/год этой воды не пропустит в Арктику. Формально на ту же величину сократится и сток через Северо-Европейский бассейн и Баффинов залив в Северную Атлантику. Следовательно, для создания прямотока потребуется перебросить 175 000—36 000=139 000 км³/год. Округлим — до 140 000 км³/год. Перебросить такое количество воды — по силам современной энергетике.

А почему атлантические воды мы так уверенно предпочитаем тихоокеанским? Может быть, для Арктики полезнее окажутся воды Тихого океана? Вспомним, как еще Фр. Нансен мечтал воспользоваться теплыми водами Куросио. Но сложившиеся физико-географические условия решают дело не в пользу тихоокеанских вод.

Прежде всего атлантических вод поступает больше, чем тихоокеанских, по объему в четыре раза, а по теплосодержанию — в 10 раз.

Во-вторых, северные широты Атлантики значительно теплее тех же широт в Тихом океане. Термический экватор расположен в Атлантике севернее, чем в Тихом океане. Если в Северной Атлантике измерить температуру верхнего океанического слоя, т. е. слоя наиболее деятельного, теплопродуктивного, то эта температура уже на широте 30° превысит соответствующие температуры Тихого океана. Причем чем дальше на север, тем эта контрастность будет увеличиваться. За широтой 50—60° тепловое преимущество Атлантики над Тихим океаном еще более возрастет.

И даже если мы опустимся на глубину, скажем, 200 м, то обнаружим, что изотерма 10° в Северной Атлантике проходит примерно на 1 800 км ближе к полюсу, чем в Тихом океане, а изотерма 5° — ближе на 2 700 км. И ниже, на глубине 400 м, Атлантика выигрывает у Тихого океана почти с тем же преимуществом.

Более того, атлантические воды входят в Арктический бассейн на 1600 км ближе к полюсу, чем тихоокеанские (атлантические — на 81° северной широты, тихоокеанские — на 66°).

Тихоокеанские воды невыгодны еще и потому, что в северной части Тихого океана они менее соленые, чем воды Северной Атлантики (см. рис. 20), следовательно, и менее плотные. Поэтому, вступив в Арктический бас-

сейн, они будут распространяться, как это происходит сейчас, в верхней распресненной зоне, а это еще больше затруднит вертикальную циркуляцию вод, еще труднее станет использовать тепло атлантических вод, тепловой потенциал которых выше потенциала тихоокеанских. Наоборот, атлантические воды, будучи более плотными, поступив в Берингово море, уйдут на юг, в Тихий океан глубинными путями. А это в климатическом отношении благоприятно, поскольку охлаждение надводных воздушных масс будет исключено.

Теплые атлантические воды, вступая в Арктический бассейн, утепляют и идущие со стороны Атлантики воздушные массы, которые проникают в глубь Евразии. Доза тепла, получаемая воздушными массами, значительно усилится, когда поток теплых вод будет направлен по ходу их движения, а не против него. Кроме того, установлено, что атлантические циклоны заходят в Арктику глубже, чем тихоокеанские, следовательно, они смогут лучше использовать добавочное тепло.

От тепла, которое пошло бы с востока, материк заслонен хребтами Камчатки, Чукотки, Якутии, которые препятствовали бы его проникновению в глубь континента. Если же тепло пойдет с запада, то ему не будут мешать горные хребты. В первом случае материк будет обращен к теплым водам своей закрытой стороной, во втором — открытой.

Наконец, надо представить себе и характер самого Берингова пролива, которому предстоит стать главным рычагом изменения климата. Его живое сечение очень незначительно, он узок и сравнительно неглубок. Чтобы достичь одного и того же теплового эффекта, тихоокеанских вод потребуется перекачать намного больше, чем атлантических, а это повлечет за собой такое увеличение объема строительных работ, капиталовложений и расхода энергии, которое выходит за пределы здравого смысла.

Словом, мобилизация атлантических вод дает несравненные преимущества. Поэтому будем считать, что мы построили в Беринговом проливе плотину, начали откачку воды с запада на восток, образовался прямоток теплых атлантических вод. Что же тогда будет происходить в Арктическом бассейне?

Посмотрим, как сейчас складывается тепловой баланс на поверхности Арктического бассейна, откуда и сколько

поступает тепла, куда и на что оно расходуется. Расчет ведется по числу килокалорий, получаемых в течение года одним квадратным сантиметром.

Приход тепла		Расход тепла	
Суммарная радиация	72,6	Отраженная радиация	54,3
Тепло, приносимое атлантическими водами	2,5	Эффективное излучение	16,8
Тепло, приносимое тихоокеанскими водами	0,4	Теплообмен с атмосферой	5,0
Тепло, приносимое речными водами	0,2	Испарение	5,0
Тепло, обусловленное выносом льда	2,4	Итого	81,1
Тепло, обусловленное выносом холодных вод	3,0		
Итого	81,1		

Когда Арктический бассейн перестанет выносить в Северную Атлантику холодные воды и лед и не сможет получать теплую тихоокеанскую воду, он потеряет 5,8 ккал/см²·год (0,4+2,4+3,0).

Чтобы сохранить тепловой режим на уровне современного, эту потерю надо компенсировать. Тепло должны будут восстановить атлантические воды, на которые теперь падает вся ответственность. Количество тепла, ими поставляемого, должно будет возрасти с 2,5 ккал/см²·год до 8,3 ккал/см²·год. Но этого недостаточно для уничтожения ледяного покрова. Чтобы поверхность Арктического бассейна перевести из ледникового состояния в неледниковое, необходима дополнительная затрата тепла на таяние льда.

На таяние одного грамма льда при средней его солености $10^0/_{00}$ и средней температуре — 10° идет 0,079 ккал тепла. При средней мощности ледяного покрова 275 см и удельном весе 0,9 удельный расход тепла на его таяние составит 19,5 ккал/см². Поскольку в условиях современного похолодания масса льда несколько возросла, увеличим этот расход до 21,5 ккал/см²·год.

Предположим срок уничтожения ледяного покрова 3 года. Следовательно, атлантические воды должны будут приносить добавочное тепло — 21,5 : 3=7,2 ккал/см². Общий расход будет равен 15,5 ккал/см²·год, что при пло-

щади ледяного покрова 8,75 млн. км² составит $15,5 \times 8,75 \times 10^6 \times 10^{10} = 1\,360 \times 10^{15}$ ккал/год.

Есть ли у атлантических вод такое тепло? Есть и в гораздо большем количестве. Достаточно напомнить, что Северо-Атлантическое течение ежегодно выносит через Фареро-Шетландский пролив в Норвежское море 1922×10^{15} ккал тепла. Для уничтожения дрейфующих льдов Арктики потребуется лишь 70% от этого количества и то только в течение трех лет.

Теперь следует определить тот объем воды, который надо будет перебросить из одного океана в другой. Расчеты показывают, что в условиях прямотока и полного прекращения стока холодных вод в Европейский бассейн и Баффинов залив температура атлантической воды на входе в Арктический бассейн составит 8,2°. При выходе из Арктического бассейна в Беринговом проливе, пока не уничтожится подавляющая масса дрейфующих льдов, она будет близка к температуре таяния морского льда, т. е. —1,6° —1,8°. В последующем расчете будем пользоваться первой температурой. Следовательно, температура атлантических вод в пределах Арктического бассейна упадет на 9,8 (8,2° — (—1,6°) =9,8°).

Как было установлено, атлантические воды должны приносить в Арктический бассейн 1360×10^{15} ккал/см²·год. Разделим это на 9,8° и получим объем атлантической воды, равный 140 000 км³. Этот объем и надо будет ежегодно перебрасывать из Арктического бассейна в Тихий океан, чтобы в течение трех лет уничтожить там ледяной покров.

Таким образом, при прямотоке Атлантика пошлет в Арктику 140 000 км³ воды против 135 000 км³, которые она посылает при противотоке. Температура на входе при прямотоке будет 9,8°, тогда как при современном противотоке 3,5° [1]. А теплосодержание увеличится с 472×10^{15} (сейчас при противотоке) до $1\,370 \times 10^{15}$ ккал/год, каким оно станет на прямотоке. То есть объем воды будет почти равен прежнему, а теплосодержание его возрастет втрое. Это будет происходить исключительно за счет роста температуры при поступлении в Арктический бассейн.

[1] Считая то и другое до уровня, близкого к температуре плавления морского льда, т. е. —1,6° С.

Трехлетний срок, который мы установили для уничтожения льдов, является, однако, формальным. Этот срок продиктован чисто математическим соотношением величин. Практически он будет бóльшим. Некоторое время потребуется, чтобы перестроить течения с современного противотока на проектируемый прямоток. Дополнительное время надо выделить на отрицательные аномалии, которые неизбежны, поскольку мы ведем расчеты исходя из средних условий, а условия меняются постоянно. Наконец, и это главное, расчетная температура атлантических вод на входе в Арктический бассейн 8,2° будет достигнута на втором, а может быть, и на третьем году перекачки. Поэтому следует считать, что на ликвидацию дрейфующих льдов с начала переброски вод уйдет примерно 4—5 лет.

Но как бы ни сложились обстоятельства, при любых условиях климат начнет улучшаться с первого же года переброски.

Когда же дрейфующие льды будут уничтожены, современный тепловой баланс Арктики перестроится. Если сейчас арктические льды отражают 54,3 ккал/см²·год, то чистая вода будет отражать только 10,0 ккал/см²·год, т. е. главная утечка тепла ликвидируется.

Эффективное излучение останется, по нашим расчетам, прежним — 16,8 ккал/см²·год. Вряд ли оно возрастет, когда ледяной покров будет уничтожен — ведь возрастет влажность приводных воздушных масс, и они будут тормозить рост инфракрасного излучения. Однако некоторые исследователи считают, что излучение все-таки возрастет. Поэтому в целях бесспорности увеличим его на одну треть и будем считать, что на эффективное излучение океан потеряет до 22,6 ккал/см²·год. Тепло, обусловленное выносом льда и холодных вод с отрицательной температурой, упадет, естественно, до нуля.

Расход тепла на испарение и конвективный теплообмен определяем применительно к современным данным для наиболее северных незамерзающих акваторий. В этом случае он составит на испарение 30, а на конвективный теплообмен 10 ккал/см²·год. Тогда при отсутствии морской адвекции тепловой баланс поверхности Арктического бассейна, свободной от ледяного покрова, представится так, как это дано в табл. 7, в колонке «акриогенные условия».

Таблица 7

Тепловые балансы поверхности Арктического бассейна при современных и акриогенных условиях (ккал/см² · год)

Компоненты	Современные условия	Акриогенные условия	Результат
Приход			
Суммарная радиация	72,6	72,6	—
Морская адвекция	3,1	—	—3,1
Тепло, обусловленное выносом холодных вод	3,0	—	—3,0
Тепло, обусловленное выносом льда	2,4	—	—2,4
Итого	81,1	72,6	—8,5
Расход			
Отраженная радиация	54,3	10,0	44,3
Эффективное излучение	16,8	22,6	—5,8
Испарение	5,0	30,0	—25,0
Теплообмен с атмосферой	5,0	10,0	—5,0
Итого	81,1	72,6	+8,5

Как отмечалось, тепловое состояние открытой поверхности бассейна без морского адвективного тепла будет неустойчиво. Поэтому для сохранения Арктического бассейна в безледном состоянии необходим определенный объем морской искусственной адвекции тепла. Не вдаваясь в детали определения этого объема для различных этапов теплового состояния Арктики, отметим, что принятая в нашем расчете искусственная морская адвекция тепла (15,5 ккал/см²·год) способна гасить похолодание, вызываемое практически возможным ростом эффективного излучения и отраженной радиации.

В порядке справки отметим, что при такой адвекции, как показали расчеты, регенерация ледяного покрова исключается.

Из сопоставления тепловых балансов при современных и акриогенных условиях видно, что общий выигрыш тепла за счет радиационных условий составляет 38,5 ккал/см²·год. Этот выигрыш будет расходоваться на шестикратное увеличение испарения и на двукратное увеличение нагрева атмосферы. Суммарный дополнительный расход на эти цели составит 30 ккал/см²·год. Остальные же 8,5 ккал/см²·год расходуются на компенсацию современных приходных статей современного теплового баланса, в будущем исчезающих.

Резкое возрастание расхода тепла на испарение и на подогрев атмосферы крайне важно. Оно является нашей целью, так как теплый воздух пойдет на материки и будет их согревать. Тепло, затраченное на испарение, сослужит нам двойную службу. Оно принесет влагу на материки и при конденсации водяного пара над материками также даст прирост тепла и снизит скорость охлаждения земной поверхности в высоких и умеренных широтах.

Гольфстрим в Арктическом бассейне

На распределение плотности и вообще на плотность морской воды температура воды имеет большее влияние, нежели ее соленость.

Ю. М. Шокальский

Итак, мы доказали, что создать Полярный Гольфстрим можно.

Однако некоторые исследователи, познакомившись с проектом, утверждают, что атлантические воды, поскольку они тяжелее, чем поверхностные арктические, будут при прямотоке так же, как и сейчас, погружаться в глубины бассейна; прямотоку не под силу вывести их на поверхность. Другие считают, что переброска вод из Чукотского моря в Берингово поднимет в Арктическом бассейне и глубинные холодные воды, и тепловой эффект прямотока будет сведен к нулю. Третьи высказывают опасение, что холодные воды Арктики, если их сбросить в Беринговo море, при перемещении на юг усилят холодное Камчатское течение, а затем и холодное течение Ойя-Сиво, в результате вместо потепления будут охлаждены наше Приморье и Японские острова. Чтобы опровергнуть эти доводы, которые сводятся к одному — создавать Полярный Гольфстрим нецелесообразно, нужны количественные обоснования. Остановимся на них подробнее.

Во-первых, станут ли воды Полярного Гольфстрима пересекать Арктический бассейн по поверхности.

Как уже говорилось, чем больше поступает атлантических вод в Арктический бассейн, тем выше поднимаются их температура и соленость. Причем во всех случаях воды

эти погружаются в глубины бассейна. Отсюда и возникла мысль, что и прямоток не сможет предотвратить это погружение. Однако тщательный анализ показал, что возражение это не правомочно.

Установлено, что температура при достаточном росте не только тормозит повышение плотности, которое в свою очередь определяется ростом солености, но даже понижает ее. Это хорошо доказали сопоставления наблюдений Фр. Нансена в 1894—1896 гг. на «Фраме» и С. О. Макарова на «Ермаке» в 1898 г. с наблюдениями много лет спустя. Верхняя граница слоя атлантической воды на севере Баренцева моря находилась во времена Нансена и Макарова на глубине около 200 м. К 1933 г. после ряда лет повышенного поступления теплых атлантических вод в Арктический бассейн верхняя граница не опустилась, а, наоборот, поднялась до отметок 50—70 м, т. е. на 130—150 м.

В другом районе, к северу от Карского моря, экспедиция Нансена в 1895 г. обнаружила верхнюю границу теплых вод на глубине 200 м. Спустя 40 лет, в 1935 г. ледокол «Садко» приблизительно в том же районе нашел теплые воды уже гораздо выше — на глубине 110 м.

С ростом температуры, как видим, уровень теплых вод поднимался ближе к поверхности бассейна. Справедливо заметить, что изменения эти за 40 лет, вероятно, не происходили непрерывно. Видимо, повышения чередовались с понижениями. Когда же происходили понижения максимальной и средней температур атлантических вод, тогда и уровень их верхней границы неизбежно понижался. Это убедительно демонстрируют материалы гидрологических станций, когда берешь показания 1931 г., года с высокими температурами атлантических вод и сравниваешь их с данными более поздних лет.

Сейчас при противотоке атлантические воды поднимаются к поверхности, стоит только повыситься их температуре, но этому мешают, как известно, холодные распресненные воды, непрерывно перемещающиеся с востока на запад. Благодаря такому перемещению холодный поверхностный слой над атлантическими водами все время возобновляется, а поскольку его плотность вследствие распресненности мала, то он и мешает атлантическим водам выйти на поверхность.

Когда начнется межокеаническая переброска воды

с запада на восток, то в первую очередь будут удалены воды самого поверхностного, наименее плотного слоя. Закрывается и другой важный источник распреснения: плотина в Беринговом проливе не пропустит в Арктику 36 000 км³/год тихоокеанской воды, чья распространяющая роль очень велика. Два серьезных врага, которые мешали теплым атлантическим водам выйти на поверхность, будут устранены. Поэтому, когда начнется переброска вод из Чукотского моря в Берингово, атлантические воды получат дополнительные благоприятные импульсы для выхода на поверхность.

Следует отметить, что переброска в Берингово море 140 000 км³/год равносильна тому, чтобы ежегодно понижать уровень Арктического бассейна на 16 м. Это понижение будет происходить только за счет поверхностного слоя, мощность которого поэтому быстро сократится, а следовательно, у него будет все меньше сил, чтобы помешать атлантическим водам выйти на поверхность. Естественно, с той же дополнительной скоростью, с какой будет падать мощность поверхностного слоя, будет подниматься верхняя граница атлантической воды.

То, что картина будет именно такова — теплые атлантические воды начнут подниматься на поверхность, едва с севера и востока ослабнет напор холодных распресненных вод,—подтверждают не только теоретические расчеты, но и накопленный опыт практических наблюдений над режимом вод в полярных широтах. Так. в годы, когда напор Восточно-Гренландского холодного течения ослабевает, напор теплых атлантических вод в Датском проливе усиливается, и язык теплых вод Ирмингера у берегов Северной Исландии не погружается под ответвления менее плотных вод Восточно-Гренландского течения, как это обычно имеет место, а, наоборот, по поверхности устремляется на восток и северо-восток. В районе Ньюфаундлендской банки обычно господствуют холодные воды течения Лабрадор, а в период ослабления северного потока холодных распресненных вод теплые атлантические вытесняют поверхностные холодные воды Лабрадора, а сами выходят на поверхность.

Другое обстоятельство, которое может вызвать возражение, это отсутствие ясности, в течение какого срока атлантические воды могут выйти на поверхность. Поэтому нам надо рассмотреть, как начнет меняться во времени

соотношение температуры, солености и плотности при переброске вод из Чукотского моря в Берингово. Точное определение соотношений во времени этих величин является делом очень громоздким и сложным, поэтому мы ограничимся преимущественно итоговыми данными, попутно указывая, откуда они получены.

Температура атлантических вод, вступающих в Арктику, повысится, как уже говорилось, с 1,9 до 8,2°. Насколько быстро будет повышаться эта температура, можно определить исходя из современных скоростей перемещения вод системы Гольфстрима от мыса Гаттерас до Ньюфаундленда и далее до Фареро-Шетландского пролива, а затем до современной границы погружения под распресненный слой арктической воды. Расчеты показывают, что температура будет расти со следующей скоростью: на втором году она поднимется с 1,9 до 4,5°, на третьем — с 4,5 до 7°, на четвертом с 7 до 9°; дальнейший рост температуры за пределами пятого года уже не нужен, и температура будет стабилизирована, что легко достигнуть регулированием объема перекачки.

Соленость атлантических вод при входе в Арктический бассейн в условиях полного устранения встречного потока распресненных арктических вод, естественно, повысится. Однако максимальное осолонение составит не более 35,4—35,5 против современного 34,95‰. В этом убеждают данные Морского атласа о солености вод Северной Атлантики и данные о распреснении их атмосферными осадками и береговым стоком за широтой 45°. Что же касается повышения солености во времени, то, руководствуясь приведенными данными и скоростями перемещения вод в системе Гольфстрима, как наиболее вероятный может быть принят следующий рост солености при входе в Арктический бассейн: на втором году перекачки — 35,15; на третьем — 35,25; на четвертом — 35,30; на пятом — 35,35‰. За пределами пятого года рост солености будет незначительным, а после десятого года она, вероятно, не превысит 35,4‰.

Установленные по годам изменения температуры и солености определяют изменения индекса плотности (табл. 8).

Для того чтобы удержать атлантические воды в Арктическом бассейне на их современных глубинах при указанном росте температуры (см. табл.), соленость должна достигать: после первого года перекачки 35,30; после

Таблица 8

Изменения температуры, солености, плотности и отметок атлантических вод при перекачке
(для точки 80° с. ш., 8—10° в. д.)

Время перекачки, год	Глубина слоя вод, м	Температура, °С	Соленость, ‰	Плотность, σ_t
Второй	150—350	4,5	35,15	1027,86
Третий	100—300	7,0	35,25	27,65
Четвертый	50—200	9,0	35,30	27,38
Пятый	0—150	9,5	35,35	27,33
После десятого	0—150	10,0	35,40	27,28

второго 35,65; после третьего 36,03; после пятого 36,17; после десятого 36,26‰. Однако, как мы видели выше, привлечение в Арктический бассейн атлантических вод с соленостью 35,5, а тем более свыше 36‰ невозможно.

Отсюда нетрудно сделать вывод, что при откачке арктических вод в Беринговом проливе поступление теплых атлантических вод хотя и будет сопровождаться увеличением солености, однако рост плотности исключается. Повышение температуры атлантических вод не только погасит эффект увеличения плотности, определяемого ростом солености, но и понизит ее. Поэтому теплые атлантические воды будут пересекать Арктический бассейн в его поверхностном горизонте.

В начале главы мы говорили о сомнениях некоторых исследователей относительно проекта создания Полярного Гольфстрима. Чтобы их разрешить, надо ответить еще на один вопрос: будут ли глубинные воды вовлечены в межокеаническую переброску? Если бы Арктический бассейн был наполнен водой одной и той же плотности, это могло бы произойти. В действительности же — картина другая (см. табл. 6).

Глубинные воды Арктического бассейна, подстилающие теплые атлантические воды, являются наиболее тяжелыми из всех водных масс, заполняющих ложе Мирового океана. Они имеют высокую соленость и вместе с тем самую низкую температуру, а потому и наибольшую плотность. Вместе с антарктическими холодными водами они, опускаясь, охлаждают глубинные воды Мирового океана под экватором. Как известно, воды высокой плотности

могут опускаться, но не подниматься. Океанолог Д. Р. Дикон установил, что возмущающие силы, способные вызывать вертикальное перемешивание, в общем недостаточно велики, чтобы преодолеть даже слабые градиенты плотности. Это видно из следующих примеров, наблюдаемых в природных условиях.

Подъем глубинных вод наблюдается, к примеру, у северо-западных берегов Африки, так как преобладающие и устойчивые пассатные ветры отгоняют от береговой линии поверхностные воды. Им на смену как компенсация поднимаются воды с глубины 100—200 м, либо самое большее с 300-метровой глубины. Уклон поверхности океана при этом достигает 4 см на 1000 км. Аналогичное явление наблюдается и у Калифорнийского побережья под 41—35° северной широты.

У Арктического бассейна общий уклон поверхности не превысит при откачке, как показывают расчеты, 8—10 см. Стало быть, удельный уклон будет меньше, чем близ берегов Африки или Калифорнии, и, следовательно, исключено, чтобы к поверхности поднялись горизонты воды, расположенные ниже 200—300 м.

Надо сказать, что подсос вод с глубины 200—300 м и тем более с 500—600 м был бы даже желателен, так как это подняло бы температуру над шельфом [1] Чукотского моря. В результате именно в этой области повысилась бы скорость разрушения дрейфующих льдов, потому что сюда будут стекаться ледяные поля до самого последнего момента — ведь она конечная на их пути. К сожалению, данное обстоятельство невозможно. Причины таковы.

В 1960 г. Ю. Г. Рыжков, а потом и другие ученые теоретически обосновали следующее: при удалении поверхностных вод обязателен подъем глубинных. Было установлено, что существует зависимость между вертикальной устойчивостью поверхностного слоя и глубиной, с которой поднимаются воды под действием сгонного ветра. На рис. 22 приводится график этой зависимости. Из графика видно, что если устойчивость $E^8=2\,000—3\,000$, то вода поднимается не более чем с глубины 30—50 м, а при $E^8=500$ она поднимается с глубин 200—250 м; т. е. чем менее устойчивы поверхностные воды по верти-

[1] Шельф — подводная мелководная равнина, окаймляющая берега морей и океанов.

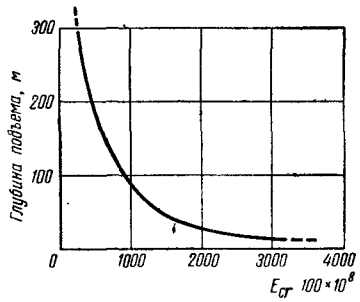


Рис. 22. Зависимость подъема глубинных вод от величины вертикальной устойчивости водных горизонтов (по Ю. Г. Рыжкову)

кали, тем с большей глубины могут подниматься глубинные воды. Ю. Г. Рыжков так и пишет: «Совершенно очевидно, что максимальный подъем глубинных вод к поверхности океана существует только в области малых величин вертикальной устойчивости, а в области весьма устойчивой стратификации подъем воды не превышает 40 м»[1].

Примерно к таким же количественным выводам приходят и другие исследователи.

Просмотрев карту и гидрологические разрезы Арктического бассейна, легко установить, что почти весь Арктический бассейн покрыт поверхностными водами с большой вертикальной устойчивостью (E^8=2000 и выше), а области с небольшой величиной вертикальной устойчивости (E^8=500) крайне ограничены и встречаются лишь в районе Земли Франца Иосифа. А раз так, то возможен подъем лишь только подповерхностных вод с горизонта 30—40 м. Подъем же не только глубинных, но даже современных теплых атлантических вод исключается.

Наряду с теоретическими расчетами этот вывод подтверждают и натурные наблюдения над движением вод Арктического бассейна. Его поверхностные воды в объеме 175 000 км³/год стекают в Атлантику с востока на запад. Как уже отмечалось, максимальная скорость стока наблюдается в самом поверхностном слое. Чем глубже, тем скорость становится меньше и на горизонте 100—200 м она уже равна нулю, т. е. воды, расположенные ниже этой глубины, уже не участвуют в стоке. Теплые

[1] *Ю. Г. Рыжков.* Роль вертикальной устойчивости слоев в развитии сгонных явлений в глубоком море. — Труды Мор. гидрофиз. ин-та АН СССР, т. X, 1960.

атлантические воды, таким образом, не только не вовлекаются в поверхностный сток с востока на запад, но, наоборот, почти по всему Арктическому бассейну перемещаются в противоположном направлении — с запада на восток.

Когда начнется откачка воды из Чукотского моря в Берингово, то в направлении к Чукотскому морю будут перемещаться по всему Арктическому бассейну преимущественно поверхностные воды. В этом поверхностном слое разовьется и максимальная скорость перемещения. Слой воды на глубине 100—200 м, где скорость нулевая, т. е. слой, который практически неподвижен, под воздействием отсасывающей силы беринговой плотины тоже начнет перемещаться на восток, но со скоростью, значительно меньшей, чем на поверхности.

Большая вертикальная устойчивость мешает глубинным массам подняться к насосам. Для этого требуется огромная энергия. Для вовлечения одного кубометра воды с горизонта, занятого промежуточной нижней водной массой, необходима затрата работы, равная (1028,09—1024,50)×(630+172+64)=3100 кг/м.

Такой потенциальной мощностью глубинные воды Арктического бассейна не располагают.

Следует попутно заметить, что на подступах к будущей плотине в радиусе примерно 1000 км простирается огромное мелководье Восточно-Сибирского и Чукотского морей, на площади которого нет глубин, превышающих 200 м. Это создает идеально благоприятные условия для того, чтобы только поверхностные воды могли поступать к насосным системам в Беринговом проливе.

Переброска вод из Чукотского моря в Берингово, создание Полярного Гольфстрима существенно изменят стратификацию и динамику водных масс Арктического бассейна.

В первую очередь с поверхности Арктического бассейна будет удаляться наиболее легкая арктическая поверхностная вода, во вторую — промежуточная верхняя. Объем арктической поверхностной воды составляет 321 000, а промежуточной верхней — 864 000 км³. При ежегодной переброске 140 000 км³/год первый слой будет удален формально в течение двух лет, а второй — в течение шести.

Так как эти воды будут замещаться теплыми атлантическими, то надо ожидать, что к концу восьмого года

стратификация вод Арктического бассейна значительно упростится. Вместо пяти слоев водных масс останутся три: атлантическая, промежуточная нижняя и донная. При этом значительно возрастет мощь атлантической воды и промежуточной нижней. Слой донной воды будет потеснен, уменьшен, а две водные массы — арктическая поверхностная и верхняя промежуточная — полностью ликвидируются.

Восьмилетний срок следует считать предельным. Это теоретический срок. В действительности изменения в стратификации произойдут несколько раньше: верхняя промежуточная вода частично будет вынесена в Европейский бассейн и в Баффинов залив, а частично, когда льды будут уничтожены и она окажется открытой, не защищенной перед ветрами, гуляющими над поверхностью океана, они, эти ветры, перемешают ее с подстилающими атлантическими водами. Ветры же могут перемешивать воду на глубине 50—100 м.

Можно, казалось бы, ожидать и постепенного осолонения Арктического бассейна, поскольку увеличится нагон более соленых атлантических вод. Однако практически этот процесс произойдет медленно, так как основная масса атлантических вод транзитом, прямотоком идет в Тихий океан, не успевая перемешаться с глубинными водами настолько тщательно, чтобы «осолонить» их. Береговой же сток будет по-прежнему оставаться важным источником опреснения, влияние которого будет сохранено лишь в прибрежной зоне.

Значительные изменения претерпит не только стратификация, но и динамика вод Арктического бассейна. Поверхностные теплые атлантические воды станут перемещаться в главной своей массе с запада на восток по траекториям, близким к дугам больших кругов с общим направлением к Берингову проливу. Но стрежень теплых атлантических вод под влиянием силы Кориолиса с еще большей четкостью, чем ныне, будет прижат к северному побережью Евразии, что для будущего потепления климата в области евразийского побережья является благоприятным фактором.

Время перемещения атлантических вод от Шпицбергена до Чукотского моря, которое в современных условиях составляет пять лет, сократится примерно до двух с половиной лет.

Воды Гольфстрима в Тихом океане

Влияние Гольфстрима зимой простирается на значительно бблыпую площадь, чем обычно предполагалось, именно вся северная половина материка Евразии находится под его влиянием . . . повышение температуры может захватывать даже восточное побережье Азии.

В. Б. Шостакович

Пожалуй, самое грозное возражение против идеи Полярного Гольфстрима выдвигает Тихий океан. Не охладят ли воды, переброшенные из Арктического бассейна в Тихий океан, наше Приморье и Японские острова? Однако и это опасение неосновательно.

Дело в том, что воды Северной Атлантики более соленые, чем воды северной части Тихого океана (см. рис. 20). При равенстве температур пришлые атлантические воды как более плотные станут неизбежно погружаться под местные тихоокеанские. При этом чем холоднее будут атлантические воды по сравнению с тихоокеанскими, тем устойчивее и надежнее будет это погружение. В результате воздействие их на местный климат сведется к нулю.

Казалось бы, убедительно. И все-таки высказанное возражение еще не отведено полностью.

Дело в том, что в первые два-три года в Тихий океан будут сбрасываться не атлантические, а поверхностные арктические, самые холодные и вследствие своей низкой солености наименее плотные воды. Оставаясь на поверхности, не охладят ли все же эти воды восточное побережье Азии? Чтобы ответить на этот вопрос, нам необходимо поближе познакомиться с климатом северо-восточного побережья Азии и его формированием.

В холодный период года над Центральной Азией формируется мощный монголо-сибирский антициклон. Благодаря ему из центральных областей материка выносятся большие массы континентального холодного и сухого воздуха (зимний муссон). Вертикальная их мощность, достигающая четырех километров, превышает высоту Станового, Хингана и других водораздельных хребтов. Поэтому горные хребты не могут полностью изолировать западное побережье Тихого океана и его окраинных морей от глубокого охлаждения зимним муссоном. Поступления на окраинные моря холодных и сухих воздушных масс высоки по скорости, так как направления муссона в этих широтах совпадают с общим направлением западно-восточного переноса воздушных масс на земном шаре. Охлажденный воздух выносится в сторону Тихого океана настолько систематично и интенсивно, что близость океана почти не оказывает смягчающего влияния на температуру материка.

Холодный поток воздушных масс проникает даже в субтропические широты, вызывая замерзание западного побережья Желтого моря. В Шанхае, Ханчжоу среднеянварские температуры —4° и ниже, тогда как на тех же широтах в Кувейте, Александрии, Каире и на острове Мадейра 12—14°.

Летом над Азией вследствие интенсивного прогревания создается пониженное атмосферное давление, в то время как тихоокеанский антициклон усиливается. Это оборачивается тем, что на восточные берега Азии начинают наступать океанические влажные воздушные массы — летний муссон. Он проникает внутрь материка и достигает водораздельных линий хребтов Яблонова, Станового и др. В результате лето на Курильских островах — сырое, дождливое. На Камчатке оно к тому же и холодное — виноваты в этом холодные воды Охотского и Берингова морей, которые омывают полуостров. В Северной Японии большое отрицательное влияние оказывает на климат холодное течение Ойя-Сиво, вызывающее летом туманы, которые экранируют солнечную радиацию и потому понижают летние температуры. Отрицательное влияние Ойя-Сиво усугубляется, если предшествующая зима в Охотском и Беринговом морях отличается большой ледовитостью. Тогда массы льда перекочевывают из морей в воды Ойя-Сиво, холодное влияние последнего увеличивается, и

летние температуры в Северной Японии начинают падать. Прямым и печальным последствием этого является существенное снижение урожая риса.

Словом, мощные и устойчивые, из года в год повторяющиеся зимние муссоны охлаждают восточное побережье Азии от Чукотки до тропиков. Нигде на земном шаре не выпадает снег в столь низких широтах, как на этой территории. Охлаждая окраинные моря по всему фронту — от Берингова до Желтого, — зимний муссон аккумулирует в них, особенно в северных, огромные запасы холода в виде льда и вод с предельно низкими температурами. Близость к полюсу холода — Оймякону — приводит к тому, что в этих морях отрицательные температуры фиксируются на глубине 1000 м и более. Запасов зимнего холода, аккумулированного морями, хватает на то, чтобы и в теплое время года охлаждать атмосферу и ухудшать климат окружающих территорий.

Зимний муссон, порожденный выхолаживанием центральных областей Азии, образованием монголо-сибирского и полярного антициклонов, не является консервативным процессом. Сибирский антициклон действительно усиливается, если его с севера питают холодные массы воздуха. Но стоит циклонам, миновав Таймырский полуостров, достичь Байкала, как антициклон становится угнетенным и даже исчезает, и на его месте активизируется циклоническая деятельность. Характерно, между прочим, что в период, когда температура вод в Северной Атлантике повысилась и вслед за этим в Арктике наступило потепление, мощность сибирского антициклона снизилась. Ледовитость Байкала уменьшилась. Условия для произрастания лесов в Монголии улучшились. Когда монголо-сибирский антициклон слабеет, меньше выхолаживается и северо-западная часть Тихого океана. Именно здесь, на стыке самого большого материка с самым большим океаном, годовые колебания температуры воды на поверхности достигают наибольшего размаха в Мировом океане. Это обусловливается главным образом сильным влиянием сухих зимних ветров.

Резкая разница между температурами — океаническими и материковыми — приводит к усилению зимнего муссона. А это в свою очередь вызывает раннее появление льда. Когда же начнется перекачка вод, то возникнет противоположный процесс — процесс выравнивания тем-

пературных контрастов между областями азиатского максимума и алеутского минимума. Лед появится позже, объем его снизится, и северо-западная часть Тихого океана будет выхолаживаться меньше. Поэтому вместе с потеплением приатлантического сектора Арктики и Северной Атлантики неизбежно начнется и потепление северо-западной части Тихого океана, т. е. потепление обоих бассейнов произойдет синхронно.

Эта синхронность — давно установленная закономерность. Еще в 1924 г., на I Всесоюзном гидрологическом съезде, было отмечено, что состояние Гольфстрима — главное условие, определяющее общий характер зимней погоды не только северо-западной Европы, но и значительной части азиатского материка.

В 1955 г. Х. П. Погосян на материале аэрологических наблюдений установил, что прогретые и увлажненные массы воздуха мощностью свыше 5 км по вертикали, распространяясь на сушу со стороны Атлантического океана, отепляют не только Европу, но и оказывают определенное влияние на значительную часть Северной Азии вплоть до Якутии. При этом тепло переносится с запада не только по суше, но и через северные моря.

Та же самая закономерность была вскрыта на основании океанографических наблюдений: «Температурная аномалия атлантических вод, наблюдаемая у северо-западного Шпицбергена, должна так или иначе сказаться у Берингова пролива через 4—4,5 года» [1].

Если мы опять оглянемся на историю климатов нашей планеты, то нам нетрудно будет вспомнить, что та же синхронность и однозначность отчетливо фиксировались в далеком и близком прошлом.

Все свои доказательства мы черпали до сих пор из нынешних обстоятельств, получали в условиях, когда тихоокеанские воды еще не охлаждаются сбросными водами (так для краткости мы будем называть воды, сбрасываемые через Берингов пролив при откачке их из Арктического бассейна).

Чтобы понять, как сложится режим тихоокеанских вод в будущем, когда Арктику пересечет поток теплых атлантических вод, которые, отдав свое тепло Северному

[1] *Н. Н. Зубов.* Избранные труды по океанологии. М., Воениздат, 1955, стр. 168.

Ледовитому океану, охлажденными будут сброшены в Тихий океан, надо познакомиться с этими водами поближе в тот момент, когда они будут сброшены, ведь за время путешествия через Арктический бассейн изменятся их температура и соленость.

С другой стороны, нам надо внимательно рассмотреть океанологические характеристики северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей, чтобы представить себе, как прореагируют эти акватории на переброску воды, что будет происходить в их «чреве» в первый, второй, третий. . . годы перекачки.

Первым встречает сброшенные воды Беринговo море. Они поступают сюда непосредственно из Чукотского моря, воды которого по характеру своему почти не отличаются от вод центральных областей Арктического бассейна. Поэтому не будет ошибкой считать, что сбросные воды первого года перекачки будут обладать индексами поверхностных вод центральной части Арктического бассейна. А индексы эти таковы: температура —1,7°, соленость 30,0‰.

На втором году перекачки в сброс начнет включаться промежуточная верхняя вода, как мы помним, более соленая, чем поверхностная. Поэтому соленость сбросных вод несколько повысится. А уж на третьем и четвертом годах перекачки, когда промежуточная верхняя вода включится в дело на полную силу, температура и соленость сбросных вод заметно возрастут. На пятом и шестом годах поверхность Арктического бассейна полностью освободится от дрейфующих льдов, очистившаяся ото льда вода будет беспрепятственно и жадно поглощать тепло солнечной радиации. Тогда температура сбросных вод поднимется выше нуля.

На рис. 23 показано, как от года к году будут меняться характеристики сбросных вод после выхода их из Чукотского моря.

Итак, первым на пути сбросных вод после того, как они минуют Берингов пролив, явится Беринговo море. Оно огромно — по площади и объему — более четверти Арктического бассейна. Холодный период длителен и суров. Физико-географическая обстановка складывается здесь так, что позволяет рассматривать Беринговo море как гигантский сместительный резервуар, в котором сброс-

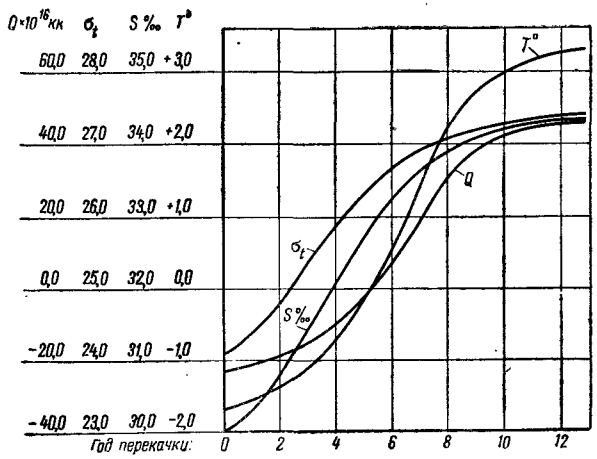


Рис. 23. Ожидаемые изменения температуры, солености, плотности и теплосодержания сбросных вод в Беринговом проливе при перекачке 140 тыс. км³ в год
$T°$ С — температура, $S°/_{oo}$ — соленость, σ_t — плотность, Q — теплосодержание, ккал

ные воды, прежде чем перейти в Тихий океан, полностью или почти полностью будут трансформированы.

Что же представляет собой Берингово море сейчас и как будет происходить в нем эта трансформация?

В Берингово море поступает 193 000 км³ тихоокеанских вод. Когда начнется перекачка, этот объем несколько уменьшится, так как сбросные воды оттеснят поступающие сюда тихоокеанские. Поэтому объем тихоокеанского поступления составит примерно 150 000 км³. Учитывать поступления от осадков (1300 км³), материкового стока (650 км³), потери на испарение (700 км³) мы не станем, так как в общем водном балансе они малозначительны.

Итак, водный баланс Берингова моря будет выглядеть так: поступившая из Арктического бассейна 140 000 км³/год и Тихого океана 150 000 км³/год масса воды покинет Берингово море через Камчатский пролив в виде Камчатского течения.

Сбросные воды будут разбавляться водами Берингова моря. Казалось бы, это соотношение должно быть 1 : 1. На самом деле оно формально. Дело в том, что бóльшая масса поверхностных вод в Беринговом море вовлечена

в замкнутую циркуляцию, в которой будут участвовать и сбросные воды, поэтому вполне допустимо принять, что в Камчатском течении станут участвовать менее 50% сбросных вод.

Если же мы попытаемся исследовать Берингово море по вертикали, т. е. рассмотреть стратификацию водных масс, то убедимся, что для основной массы вод Берингова моря характерна субарктическая структура. Здесь, как и в Арктике, промежуточный слой холоден, летом он не исчезает и тоже подстилается относительно теплыми водами.

Верхняя беринговоморская водная масса в северной и западной областях моря имеет мощность до 150 м; к югу и юго-востоку, к месту встречи с тихоокеанскими водами, она выклинивается. В конце зимы и начале весны температура всего слоя по вертикали отрицательна (около —1,5°, —1,7°). В конце лета благодаря радиационному прогреву температуры на поверхности всюду положительные и достигают 6—7° и более.

Летом прогрев делает верхнюю водную массу устойчивой. Зимой, когда вся северная и западная области моря покрыты льдом и поверхность воды сильно охлаждается даже на значительном расстоянии от кромки льда, устойчивость нарушается. Начинается перемешивание с нижними слоями, и верхняя беринговоморская масса трансформируется в промежуточную.

Промежуточная водная масса является поэтому по своему происхождению как бы продолжением верхней массы. В суровые зимы она охлаждается до глубины 400 м и более, причем температура падает предельно низко. К югу глубина, естественно, меньше. Температура и соленость сравнительно устойчивы, но к юго-востоку повышаются: от —1,7 до 4° и от 33,7 до $34{,}3°/_{oo}$.

Тихоокеанская водная масса залегает ниже 250—400 м. Температура ее всегда несколько ниже 4°, а у дна она понижается до 1,5—1,7°. Соленость 34,3—$34{,}8°/_{oo}$.

Теплые тихоокеанские воды вливаются в Берингово море через проливы Алеутской гряды, которая, как ожерельем, окольцовывает Берингово море в зоне его встречи с Тихим океаном. Поступление вод идет преимущественно через пролив Ближний, который отделяет эту гряду от Командорских островов, расположенных западнее, ближе к азиатскому материку. Войдя в море, теплое Тихоокеанское течение отклоняется вправо и совершает циклониче-

скую циркуляцию вдоль американского побережья. У острова св. Лаврентия через проливы Шпанберга и Чирикова от него отпочковываются ветви, которые питают сток тихоокеанских вод в Чукотское море. Основная же часть Тихоокеанского течения отклоняется на запад, а потом на юг. Охлажденные и трансформированные во время своего путешествия к северу Берингова моря тихоокеанские воды возвращаются на юг вдоль восточного берега Камчатки под названием холодного Камчатского течения. Перед тем как возвратиться в Тихий океан через Камчатский пролив, почти у самого входа в Тихий от Камчатского течения (слева по ходу) отделяется довольно сильная струя — течение Беринга. В отличие от главной струи холодного Камчатского течения дочернее течение Беринга не торопится пока вернуться в Тихий океан, а, идя на восток, на меридиане 170° восточной долготы соединяется с теплым тихоокеанским течением и замыкает, таким образом, циклоническую циркуляцию. В этом круговороте воды перемешиваются непрерывно и быстро, в результате чего тихоокеанские воды существенно трансформируются. Циклоническая циркуляция усиливается зимой и ослабевает летом, оставаясь господствующей формой существования морских течений этого района в течение всего года.

Когда в Беринговo море поступят новые, сбросные воды, то под влиянием отклоняющей силы вращения Земли они будут перемещаться к западу в направлении мыса Наврина, прижимаясь ближе к азиатскому материку. Здесь они смешаются с водами Камчатского течения и потекут по его трассе. Циркуляцию вод в Беринговом море сбросные воды принципиально не изменят, но мощь Камчатского течения усилится, во-первых, потому, что оно не будет, как сейчас, расходовать часть своих вод на сток в Чукотское море через Берингов пролив (этому будет мешать плотина), а во-вторых, ничего не теряя, оно одновременно получит «прибавку» в виде арктических вод, сброшенных через ту же плотину из Чукотского моря в Беринговo. Так что здесь прибыль двойная. Несомненно, усилится и течение Беринга, особенно в зимнее время, когда северо-западные ветры достигают наибольшей силы и устойчивости. Все это приведет к тому, что арктические воды будут перемешиваться с водами Берингова моря достаточно интенсивно.

Теперь мы совсем близки к ответу на главный тревожный вопрос: не охладит ли сброс арктических вод и восточноазиатское побережье и моря после интенсивного перемешивания с тихоокеанскими водами?

Но прежде нам надо сделать еще одно отступление — посмотреть, каким теплом встретит Беринговo море арктический холод, чтобы увидеть, как «пришлые гости» (сбросные воды) могут изменить тепловой режим «хозяина» (Берингова моря). Не слишком ли много они поглотят тепла и не слишком ли сильно понизят температуру? Не нанесут ли вред привычному порядку вещей?

Современный тепловой баланс поверхности Берингова моря определяется следующими данными (ккал/см^2·год):

Приход		Расход	
Суммаркая солнечная радиация	61,7	Эффективное излучение	33,4
Конденсация водяного пара	1,0	Испарение	42,2
Ледообразование	2,3	Таяние льда	2,3
Теплообмен с атмосферой	1,7	Теплообмен с атмосферой	17,5
Итого	66,7	Итого	95,4
		Баланс	—28,7

Отсюда видно, что больше всего тепла Беринговo море тратит на эффективное излучение — 33,4, на испарение — 42,2 ккал/см^2·год.

Если посмотреть, как эти расходы распределяются по временам года, по сезонам, то мы увидим, что летом (май—август) на эффективное излучение тратится 8,6, а зимой (ноябрь—февраль) — 13,0 ккал/см^2, соответственно на испарение уходит: летом — 2,2, а зимой — 23,2 ккал/см^2.

Зимой потери тепла увеличиваются потому, что на поверхность Берингова моря нагнетается, как мы уже видели, сухой и холодный воздух. Его приносят сюда монголо-сибирский антициклон, западно-восточный перенос [1] и сбрасываемые с севера охлажденные воздушные массы, которые формируются над арктическим бассейном, покрытом многолетним паковым льдом.

В результате тепловой баланс поверхности моря отрицательный. Беринговo море теряет тепла больше, чем

[1] Западно-восточный перенос — преобладающий перенос воздуха с запада на восток в процессе общей циркуляции атмосферы. Он охватывает умеренные широты приблизительно от 40 до 65° северной широты.

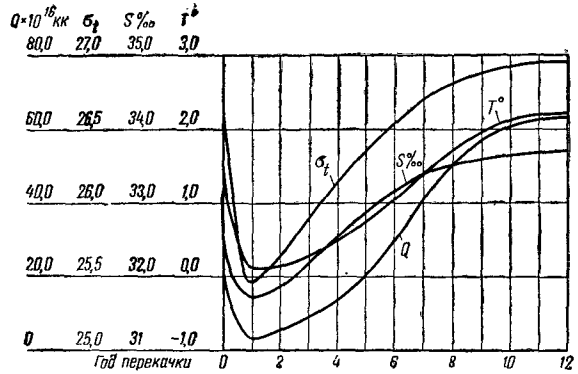


Рис. 24. Ожидаемые изменения температуры, солености, плотности и теплосодержания вод Камчатского течения (трансформированных сбросными водами) при выходе из Берингова моря
T° C — температура, $S°/_{oo}$ — соленость, σ_t — плотность, Q — теплосодержание, ккал

приобретает. Дефицит исчисляется в 28,7 ккал/см²·год. По всей поверхности моря теряется, таким образом, 66×10^{16} ккал, которые компенсируются морской адвекцией — теплым Тихоокеанским течением.

Если поступивший объем тепла мы разделим на объем воды, которая это тепло принесла, то выясним, что тихоокеанская вода в пределах Берингова моря охлаждается на $66\times10^{19} : 15\times10^{19}=4,4°$. При этом, по имеющимся данным, среднегодовая температура тихоокеанской воды при входе в Берингово море составляет около 6°, а на выходе около 1,5°.

Теперь, когда мы познакомились с тепловой жизнью Берингова моря, можно представить себе, как повлияют на эту жизнь холодные сброшенные воды.

В первый год перекачки, когда сбросные воды будут наиболее холодными, они принесут с собой холод в объеме $23,8\times10^{19}$ фригорий [1]. В последующие годы поступление холода будет снижено до нуля, а с шестого года начнут поступать воды с положительной температурой.

На рис. 24 в виде кривых выражены по годам изменения, которые претерпят воды Камчатского течения, когда они смешаются со сбросными. Причем приведенные данные занижены, ухудшены в сторону холода: мы не учитываем здесь благотворного влияния атмосферных процессов над Беринговым морем. Атмосферные условия с первого же года перекачки будут улучшаться, поскольку Арктический бассейн сразу начнет снижать свою ледовитость со скоростью 20% в год, а следовательно, не только воды, но и воздух начнет наращивать тепло. Однако благотворное влияние теплеющего воздуха нам трудно учесть, так как потребовались бы очень сложные вычисления. Поэтому используем данные заниженные, но зато более надежные. Однако даже при этих заниженных данных выясняется, что температура вод Камчатского течения упадет в первый год перекачки с 1,5 до 0,1°, т. е. самое большее на 1,4°. Данная цифра не выходит за пределы межгодовых изменений температуры в Камчатском течении при нынешних условиях, когда арктические воды еще не начали сбрасываться в Берингово море, т. е. никакой решительной климатической встряски не произойдет.

Когда температура в первый год перекачки понизится на 1,4°, Берингово море потеряет тепла $19,6\times10^{16}$ ккал/год. Вернемся к данным на стр. 135 и убедимся, что это не такая уж большая трата. От общего расхода тепла эта потеря составляет всего 8,8%. Если же соотнести потерю тепла, которую в первый год перекачки вызовут сбросные воды, с тем теплом, которое приносят тихоокеанские воды, то от тихоокеанского тепла эта потеря составит всего 29%.

К тому же потеря в 1,4° произойдет только в течение одного, первого года. В дальнейшем же температура начнет повышаться. К концу седьмого года она будет равна современной, а начиная с восьмого — выше современной.

И еще одна оговорка — в расчетах по-прежнему не учитывается благотворное влияние улучшения теплового режима Атлантики и приатлантического сектора Северного Ледовитого океана. Растопление арктических льдов неизбежно ослабляет и угнетает арктический и монголосибирский антициклоны. Их отрицательное влияние начнет из года в год падать. В результате сбросные воды будут охлаждать северо-западную акваторию Берингова моря в худшем случае один год. На второй год это охлаждение сомнительно. На третий — исключается.

Проследуем за сбросными водами дальше на юго-запад и постараемся выяснить их взаимоотношения с водами

[1] Фригория — единица холода, по величине равная калории, но противоположная ей по знаку.

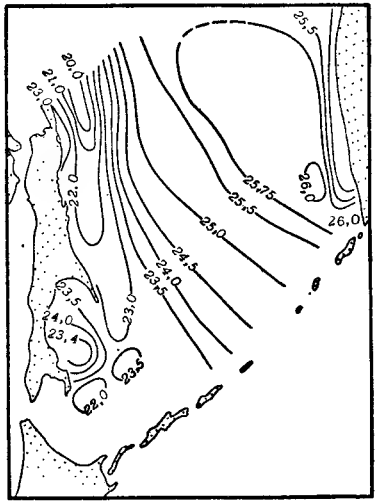


Рис. 25. Изопикны поверхностных вод Охотского мори

(по А. К. Леонову)

Охотского моря. Это очень холодное море, которое по своему гидрологическому режиму мало чем отличается от арктических морей. И не удивительно: Охотское море расположено в 500 км от полюса холода (Оймякон) и на несколько большем расстоянии от зимнего центра сибирского антициклона.

Водный баланс моря выглядит так (тыс. км³/год):

Приход		Расход	
Поступление из Тихого океана	144,0	Сток в Тихий оксан	160,0
Поступление из Японского моря	15,0	Испарение	0,5
Материковый сток	0,6		
Осадки	0,9	Итого	160,5
Итого	160,5		

Существенно в этом балансе то, что материковый сток и осадки в три раза превышают испарение. Это приводит к сильному распреснению поверхностного слоя (рис. 25). В результате значительная часть Охотского моря, особенно та, что через южные проливы Курильской гряды питает холодное течение Ойя-Сиво, покрыта водами, плотность которых иногда бывает даже ниже плотности арктической поверхностной воды. Это отрицательно влияет на термику окружающей суши.

Зимой три четверти поверхности Охотского моря покрыты льдом. Температура поверхностной воды колеблется зимой от −1,8 до 2°, летом от −1,5 до 15°. Летом верхний слой воды успевает прогреться только до глубины 30—75 м, поэтому под ним остается сильно развитый холодный промежуточный слой. Он залегает до глубины 200—400 м и подстилается промежуточной водной массой. Температура ее в течение года (в зависимости от местоположения) колеблется от −1,7 до 2,8°. Глубинная тихоокеанская водная масса, подстилающая промежуточную, расположена ниже 1000—1300 м и обладает температурой 1,8—2,3°.

Соленость вод в прибрежной части 30,0‰ и ниже. Она увеличивается от 32,8 на поверхности, через 33,2—34,5‰ в промежуточном слое, до 34,4—34,7‰ в глубинном тихоокеанском.

Как и Берингово, Охотское море расходует тепла больше, чем приобретает. Как и в Беринговом море, эти потери связаны преимущественно с эффективным излучением и испарением. Виновники потерь те же — холодные и сухие воздушные массы сибирского антициклона и западно-восточного переноса, а также воздушные массы, пришедшие сюда из Арктики. Дефицит тепла составляет 26 ккал/см² · год. Умножив эту цифру на площадь моря 1 590 000 км², мы увидим, что для всей поверхности он составляет $41{,}5 \times 10^{16}$ ккал/см² · год. Эта недостача покрывается за счет адвекции тепла тихоокеанскими водами.

Но что отличает термику Охотского моря, так это относительно теплые летние температуры в северных проливах Курильской гряды. Наоборот, юго-западная часть моря — более холодная (рис. 26). Происходит так потому, что тихоокеанские теплые воды поступают через северные проливы, а уходят охлажденными — через южные. Не случайно в восточной части в общем холодного Охотского моря разместилась теплолюбивая фауна.

Курильские острова, опоясывая Охотское море, естественным рубежом отделяют его от Тихого океана так же, как Алеутские острова отделяют Берингово море. Через проливы Курильских островов Охотское море широкими полосами обменивается водами с Тихим океаном. В условиях Охотского моря этот обмен происходит энергично, воды перемешиваются интенсивно и сравнительно быстро трансформируются.

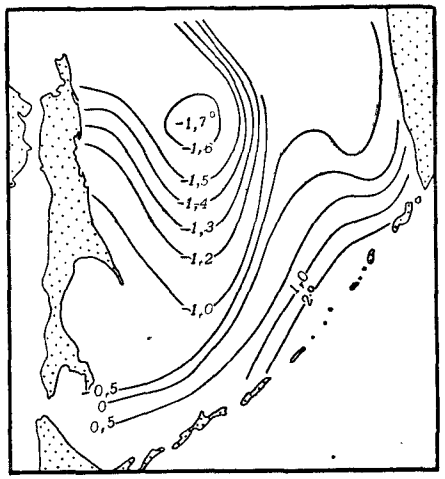


Рис. 26. Карта минимальных температур в июле-августе в Охотском море (по А. К. Леонову)

Перемещаясь к северу, тихоокеанские воды не создают, как в Беринговом море, единого мощного течения, а образуют отдельные устойчивые ветви и частные циркуляции, разнообразные по своей силе. Правые ветви, пройдя вдоль побережья Камчатки, описывают дугу вдоль северных заливов и затем, слившись с левыми струями, обтекают с севера остров св. Ионы. Возникает циклоническая циркуляция, в которую трансформированные тихоокеанские воды вовлекают распресненные воды Сахалинского залива. Все эти воды образуют Северо-Охотское холодное течение, которое проходит вдоль восточного побережья Сахалина и направляется в южные проливы Курильской гряды. Пройдя проливы, воды Северо-Охотского течения вливаются в Курильское течение (Ойя-Сиво). Как менее плотные, они перекрывают воды Курильского течения и, как более холодные, усиливают их охлаждающую роль. Сток распресненных холодных вод Охотского моря является главной компонентой холодного течения Ойя-Сиво. Следовательно, в теплую часть года воды северо-западной части Тихого океана у южных островов Курильской гряды и у северных островов Японии не столько охлаждаются водами более северного Берингова моря, сколько водами более южного, но лежащего ближе к полюсу холода Охотского моря.

Покидая с Северо-Охотским течением пределы Охотского моря, мы попадем в северо-западную область Тихого океана и к восточным берегам Японских островов. Здесь сходятся север и юг, сталкиваются субтропические и субарктические водные массы. Именно эта область является ареной их сложного контакта.

При оценке охлаждения северо-западной акватории Тихого океана сбросными водами следует иметь в виду, что не все воды Камчатского течения, покидая Берингово море, достигают Японских островов. Часть их рассеивается слабыми юго-восточными и восточными течениями. Естественно, какая-то часть трансформированных в Беринговом море сбросных вод до подхода к Японским островам также будет рассеяна в массах воды северо-восточной части океана и в его циклонической циркуляции. Поскольку сбросные воды в конечном итоге будут поглощаться именно субарктическими, а затем и субтропическими водными массами, необходимо вкратце рассмотреть их основные характеристики.

Субтропическая водная масса формируется из вод, которые поступают сюда с юго-запада. Стрежень этих вод составляет теплое течение Куросио. Японский исследователь Масузава ограничивает Куросио вообще сравнительно узкой струей, которая развивает скорость 20 см/сек и выше. Остальную движущуюся массу он относит к «области восточного переноса».

Мыс Сиономисаки, расположенный на южной оконечности острова Хонсю (основного в системе Японских островов), являлся как бы рубежом на маршруте этого переноса с юга на север.

К северу от мыса за 34—35° северной широты начинается непосредственный контакт субтропических и субарктических водных масс, а следовательно, в будущем и контакт со сбросными водами. До мыса Сиономисаки субтропический поток доходит как бы в чистом виде. Его показатели в это время таковы:

	Область восточного переноса	Куросио
Ширина течения, морские мили	126	90
Площадь разреза, 10^6 м^2	207	79
Средняя температура, °С	12,6	16,5
Средняя скорость течения, см/сек	24,5	49,2
Величина переноса, 10^6 м^3/сек	48,3	37,9

Схематическая карта северо-западной части Тихого океана (рис. 27) одновременно характеризует течения системы Куросио и контакт субтропических вод с субарктическими.

Субарктические водные массы по своему происхождению и характеру зависят от метеорологических условий на континенте, а также, конечно, от тех водных масс, которые поступают сюда из Берингова и Охотского морей. Они занимают поверхностный слой глубиной 300 м. В теплое время года прогреваются только верхние 60—100 м, а ниже остается слой «вечной жидкой мерзлоты», который называют холодным промежуточным. Деятельным же слоем, т. е. больше всего влияющим на климат окружающих областей, является верхняя толща в 60—100 м.

Исследования показали, что температуру деятельного слоя определяет не столько летний прогрев, сколько зимнее выхолаживание и связанная с ним конвекция вод. Холодный промежуточный слой подстилается теплым промежуточным слоем тихоокеанской воды, а затем глубинной и донной.

Наблюдениями на «Витязе» установлены характеристики водных масс в районе Курило-Камчатской впадины, где стратификация вод более характерна (табл. 9).

Температура субарктической воды к востоку от южных и средних Курильских островов несколько ниже (1—3°), чем к югу от Командорских и Ближних островов (2—4°). Наличие более теплых субарктических вод в более северных районах объясняется процессами смешения их с во-

Таблица 9

Характеристика водных масс

Водные массы	Глубина, м	Температура, °С	Соленость, ‰
Поверхностные, весенне-летней модификации	0—100	2,6	33,2
Холодные промежуточные	100—250	0,3	33,3
Теплые	250—850	3,5	34,1
Глубинные	850—3000	1,7	34,7
Придонные	3000—дно	до 1,01	до 34,74

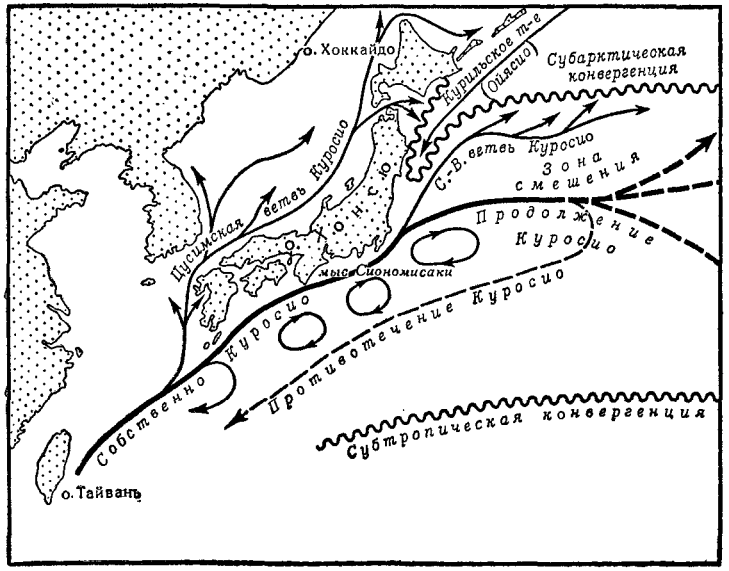


Рис. 27. Схематическая карта течений в системе Куросио
(по Масузава)

дами теплого Алеутского течения, идущими с востока на запад, заполняющими заливы юго-восточной Камчатки и обеспечивающими в них лов теплолюбивых рыб. Охлаждение же вод в более южных районах — результат стока холодных вод Охотского моря.

Пройдя Камчатский пролив, Камчатское течение под новым названием Курильское (Ойя-Сиво) спускается к более южным широтам и достигает Японских островов. Здесь и происходит встреча с субтропическими водами, которые несет теплое течение Куросио. Будучи более холодными и более плотными, воды Курильского течения погружаются под теплые менее плотные воды Куросио и вклиниваются полосой между последними Японскими островами. На рис. 27 эта встреча двух течений представлена достаточно наглядно.

Чем дальше на юг, тем все больше холодные воды Ойя-Сиво погружаются под теплые воды Куросио. За 35° северной широты они рассредоточиваются, рассеиваются в промежуточном слое пониженной солености, так называемом слое «Д», мощность которого по вертикали доста-

точно велика — он расположен между горизонтами 300 и 1000 м.

Однако фронт контакта двух течений отнюдь не стабилен. Он может быстро менять свое местоположение. Так, в 1951 г. к востоку от 155° западной долготы контакт становился настолько нечетким, что стали говорить о его «размытом характере».

Следует еще раз отметить — путь субарктических вод к месту встречи с субтропическими водами неровен и непрост. Характер их меняется весьма неожиданно. В северных районах Курило-Камчатской впадины, к югу от Командорских островов и пролива Ближнего, субарктические воды оказываются несколько теплее, чем в районах, расположенных южнее на 1000 км и более, так как в этом районе прорываются воды теплого Алеутского течения. Потеплевшая смесь тихоокеанских вод с водами Берингова моря, двигаясь дальше на юг, к субарктической конвергенции [1], охлаждается и перекрывается стоком поверхностных холодных вод Охотского моря. Причем и охлаждение очень неравномерно в разные годы. В теплое время температура вод Ойя-Сиво на подходе к субарктической конвергенции может упасть аномально низко. Эти аномальные понижения вызываются целой цепью причин. Прежде всего понижения зависят от того, насколько суровы были предшествующие зимы в Охотском и Беринговом морях. Суровость же зим в этих морях зависит от зим на азиатском континенте и в Арктическом бассейне, а те в свою очередь в определенной мере зависят от температурных колебаний поверхностных вод Северной Атлантики и Европейского бассейна.

Следовательно, в охлаждении вод Ойя-Сиво, как уже говорилось, виноваты не столько воды более северного Берингова моря, сколько перекрывающие их коварные воды более южного Северо-Охотского течения. И, стало быть, сбросные воды не могут стать существенным источником похолодания, потому что, окунувшись в Беринговом море, перемешавшись с его водами, они вместе с ними также будут перекрыты менее плотными водами этого течения.

[1] Конвергенция — зона схождения и погружения поверхностных вод в океане. Обычно формируется на стыке теплых и холодных океанических течений.

Кроме того, далеко не весь запас холода сбросных вод будет использован на охлаждение вод Куросио. На 3000-километровом пути от Берингова пролива до субарктической конвергенции часть холода будет израсходована на охлаждение вод, сносимых в восточном направлении.

Вывод о том, что сброс арктических вод через Берингов пролив, если и приведет к охлаждению вод в северо-западной части Тихого океана, то охлаждение это будет незначительным и недолгим, подтверждается и двумя простыми расчетами.

1. Допустим, что все 140 000 км³ арктических вод с предельно низкой температурой —1,7° доставлены без потерь холода в район субарктической конвергенции. Допустим также, что ни один кубокилометр сбросных вод не ушел под течение Куросио и в пути до Сиономисаки сбросные воды полностью смешались с водами Куросио, объем и температура которых приведены выше (см. стр. 142). В этом гипотетическом случае температура вод Куросио понизится только на

$$16{,}5^\circ \frac{16{,}5 \times 37{,}9 \times 10^6 \times 31{,}5 \times 10^6 - 1{,}7 \times 10^{12}}{37{,}9 \times 10^6 \times 31{,}5 \times 10^6 + 140 \times 10^{12}} = 1{,}9^\circ.$$

Напомним, что годовая амплитуда температуры воды на поверхности Куросио в районе мыса Сиономисаки равна 10° и выше, по данным В. В. Леонтьевой, и до 13°, по данным Ю. М. Шокальского. Межгодовые колебания у острова Тайвань равны 3°, а в юго-восточной части Восточно-Китайского моря — 2,5°. На фоне этих колебаний возможное снижение температуры только в предельно неблагоприятных условиях на 1,9° не выйдет из рамок обычных межгодовых колебаний.

2. На перемещение сбросных вод от Берингова пролива до зоны субарктической конвергенции уйдет примерно полтора года. За это время будет очищен от дрейфующих льдов приатлантический сектор Арктического бассейна на площади примерно 2—3 млн. км². Замена подстилающей поверхности с ледяной и снежной на водную увеличит поглощение солнечной радиации на 32 ккал/см² · год. Не считая роста тепла морской адвекции, прирост тепла в водах приатлантического сектора Арктического бассейна только за счет изменения альбедо составит $32 \times 3 \times 10^6 \times 10^{10} = 960 \times 10^{15}$ ккал/год.

Все это тепло будет в конечном счете отдано в атмосферу

на ее подогрев, так же как и межгодовые колебания запаса холода в Охотском и Беринговом морях, равные, по нашим расчетам, примерно 400×10^{15} ккал/год, уйдут на охлаждение ее.

Подогрев воздуха в Приатлантике в 2,5 раза выше охлаждения, которое могут навлечь сбросные воды в северо-западную часть Тихого океана. Это дает основание считать, что эффект потепления на западе Евразии может погасить эффект похолодания, вызываемого сбросными водами на востоке Евразии.

Справедливость такого вывода обосновывается также данными последних исследований. Они, как уже отмечалось, устанавливают, что синоптические процессы над Северной Атлантикой, определяемые ее потеплением, угнетают сибирский максимум вплоть до его разрушения. Разрушение сибирского максимума и выходы западных циклонов зимой на Охотское море оказывают исключительно большое влияние на развитие синоптических процессов северо-западной части Тихого океана, так как такие выходы связаны с выносом тепла на восток Азии.

Все это позволяет заключить, что 140 000 км³ воды, переброшенной из Арктического бассейна в Берингово море, не в состоянии в заметном объеме на сколько-нибудь длительное время охладить северо-западную часть Тихого океана, северные острова Японии и наше Приморье. Максимальная аномалия, которую может дать охлаждение, не выйдет за пределы похолоданий, происходивших за последние 30—40 лет. Непривычных понижений температуры не произойдет. Даже в самом худшем случае при максимальной аномалии охлаждение продлится не больше двух лет, и то оно скажется только в теплый период года. В холодные периоды похолодания, сверх обычно наблюдаемых, вообще исключаются.

В целях предосторожности в сельскохозяйственном производстве в период первых двух лет перекачки необходимо провести некоторые профилактические мероприятия: ограничиться более хладостойкими культурами, чем те, которые обычно возделываются в области нашего Приморья и в Северной Японии, а также оградить многолетние культуры от возможных весенних похолоданий (окучивание, укрытие, задымление, вентиляция и прочие обычные меры, применяемые при ожидании весенних заморозков).

Первые этапы мелиорации климата

Термика моря таит в себе ключ к термике всех материков.

В. В. Шулейкин

Анализ изменения климатов в течение кайнозоя показывает, что природа меняла климат, пользуясь преимущественно механизмом водо- и теплообмена Арктического бассейна с Атлантическим океаном. Научная и техническая вооруженность современного человека такова, что он способен подключиться к управлению этим механизмом, тщательно соблюдая при этом, конечно, осторожность и предусмотрительность.

Вспомним, что за последние 20 000 лет климат менялся часто и довольно резко от потепления к похолоданию. Так, последняя фаза вюрмского оледенения 18 000—20 000 лет назад была самой холодной за всю историю антропогена. Наиболее теплое время послеледниковья наблюдалось в среднем голоцене совсем недавно, всего 4000—6000 лет назад.

Среднегодовая температура в Центральной Европе лишь немногим уступала тогда лучшим климатическим оптимумам — лихвинскому на один градус, а микулинскому лишь на полградуса. Частота и сходство в амплитудах колебаний говорят о том, что наш прогноз можно распространить на весь антропоген, длившийся, как мы помним, 500 000 лет. Ведь причины и закономерности, определившие формирование климата за последние 20 000 лет, должны были действовать и в более далеком прошлом.

Поскольку все эти происходившие на континентах климатические изменения зависели от параметров водо- и теплообмена Арктического бассейна с Атлантикой, мы, изучив эти параметры, можем через их регулирование изменять климат не «вообще», а выбирая желательные для нас масштабы. Однако существуют практические соображения, которые ограничивают право выбора амплитуды изменений.

Совершенно очевидно, что нельзя встать на путь очень медленных преобразований, так как вследствие самоохлаждения и саморазрастания ледяного покрова эксплуатационные расходы повышаются. С другой стороны, исключается возможность быстрых и очень крупных изменений из-за необходимости считаться с достаточно плавными изменениями современных экологических условий органического, в первую очередь сложившегося растительного мира. Наконец, при быстрых и глубоких преобразованиях мы неизбежно столкнемся с проблемой обеспечения энергоресурсами мощных насосных систем по переброске вод. Поэтому процесс мелиорации климата целесообразно расчленить на ряд этапов, определяемых как биологическими, так и энергетическими соображениями.

Начальные этапы мелиорации, естественно, определяются мощностью насосных систем для переброски 140 000 км^3/год. Рассмотрим, какие этапы улучшения могут быть обеспечены такой мощностью.

Палеогеографическая документация свидетельствует, что во время среднеголоценового климатического оптимума горизонтальное распределение температур поверхностного слоя Арктического бассейна было таково, что в притихоокеанском секторе она приближалась к температуре замерзания. Именно такая температура, — 1,6° в Беринговом проливе, обеспечивает уничтожение дрейфующих льдов с наименьшими затратами на капитальные сооружения при минимальных эксплуатационных расходах.

После ликвидации дрейфующих льдов дальнейшая перекачка в объеме 140 000 км^3/год для поддержания Арктического бассейна в акриогенном состоянии не вызывается необходимостью, так как значительные массы тепла солнечной радиации будут поглощаться в светлый период года поверхностными водами бассейна. Поэтому

объем перекачки может быть снижен примерно на 30—60%. Если сохранить переброску в проектном объеме, то амплитуда мелиорации выйдет за пределы оптимума среднего голоцена и достигнет кульминации микулинского и лихвинского межледниковья.

Вместе с тем следует отметить, что в процессе изменения ледовитости Арктического бассейна от современного с постоянным ледяным покровом до устойчивого безледного уровня среднеголоценового оптимума, вероятно, будет целесообразно сделать двух-, трехгодичную паузу на тепловом уровне, наблюдавшемся в раннем средневековье (900—1000 лет назад), когда дрейфующие льды полностью исчезали летом и в небольшом объеме восстанавливались зимой. Такая пауза позволит более точно фиксировать климатические изменения и уточнения возможных отклонений от расчетных параметров.

На основе приведенных соображений и предварительных расчетов можно утверждать, что переброска 140 000 км^3/год воды из Атлантики в Тихий океан обеспечит наилучшие климатические условия, наблюдавшиеся в антропогене. Выход на этот уровень целесообразно разбить на следующие четыре этапа (табл. 10).

Таблица 10

Этапы мелиорации климата первого цикла

Этап	Эквивалент оптимума антропогена	Абсолютный возраст, тыс. лет назад	Рост среднегодовой температуры в Центральной Европе против современной, °С
I	Малый климатический	0,9—1,0	1,0—1,5
II	Среднеголоценовый	4—6	2,0—2,5
III	Микулинский (рисс-вюрмский)	70—100	2,5—3,0
IV	Лихвинский (миндель-рисский)	190—330	3,0—3,5

Точно определить, как и в каком порядке добавочное тепло разольется по Земле в каждый из перечисленных этапов, каково будет температурное поле Земли,— дело весьма сложное и громоздкое. Но сейчас, когда мы делаем эскизные наброски будущих изменений, можно ограни-

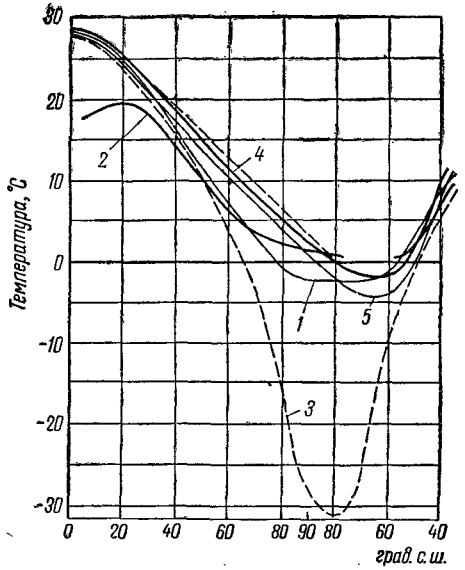


Рис. 28. Температура в январе на разрезе Атлантика — Северный полюс — Тихий океан

1 — воды на поверхности моря;
2 — на глубине 200 м;
3 — воздуха на уровне моря (при современных условиях);
4 — воды на поверхности моря;
5 — воздуха на уровне моря (при прямотоке)

читься упрощенной схемой расчета. Для примера посмотрим, что будет происходить в январе, наиболее холодном месяце, на втором этапе. Он соответствует среднеголоценовому оптимуму, изученному достаточно хорошо, что позволяет нам дать уверенный прогноз климатических улучшений.

Чтобы сделать это, необходимо прежде всего установить, как от широты к широте будет меняться температура поверхностного слоя воды на разрезе — от Флоридского пролива через Европейский бассейн и Северный полюс до Берингова пролива и далее до острова Итуруп; затем установить, как по тому же разрезу будет меняться температура воздуха на уровне моря (рис. 28); наконец, чтобы соотнести будущие температуры с нынешними, определяем величину будущих аномалий для характерных точек трассы. Эти аномалии кладутся затем в основу построения карт изаномал [1] для всего Северного полушария, причем учитывалось следующее.

1. Рядом исследований установлено, что когда тепловые потоки, идущие с окраинных морей — от Баренцева

[1] Изаномалы — изолинии аномалий, в данном случае температурных.

до Чукотского, — увеличиваются, то изаномалы Евразии ложатся фронтом к общей береговой линии в основном правильными, почти параллельными рядами. По мере того как поток тепла усиливается, изаномалы перемещаются по часовой стрелке. По отношению к широтным линиям они располагаются под малыми углами, что особенно четко наблюдается на Сибирской равнине, где отсутствие горных хребтов позволяет наблюдать траектории изаномал в «чистом», не деформированном виде.

2. Изаномалы огибают, почти «облизывают» морские береговые линии, так как тепло, идущее от теплых водных масс, нивелирует холодное влияние, идущее с суши.

3. Все тепловые потоки с окраинных морей сливаются и идут как бы от одного источника, температура которого падает от Атлантики до Берингова пролива.

4. Воздушные массы, поступившие на поверхность океана, трансформируются достаточно быстро. Поэтому рисовка их температурного поля становится сходной с рисовкой температурного поля поверхности океана.

5. Тепловые потоки способны проникать в глубь материка. Даже, к примеру, современное небольшое потепление Арктики и изменение в тепловой деятельности Гольфстрима отражаются на Украине и Центральной Сибири.

6. Судьба тепла, поступившего на материки, в значительной степени зависит от рельефа местности. Если на пути теплового потока встают горные хребты, то они отражают это тепло, тормозят его проникновение в глубь материка. Коэффициент турбулентной теплопроводности уменьшается вдвое, если высота хребтов, поднявшихся навстречу тепловому потоку, достигает 300—400 м, и падает в семь раз при высоте хребтов более километра. Экранирующая роль хребтов ослабляется, если их протяженность незначительна и тепловые потоки способны описывать их с флангов [1].

На основе карты изаномал строим карту изотерм. На рис. 29 старые и новые температурные поля наложены друг на друга, что делает их сопоставление наглядным.

[1] Построенная карта изаномал во избежание крупных ошибок подвергалась проверке по температурным градиентам (в соответствии с исследованиями Е. В. Осмоловской) и сверялась с установленным *В. В.* Шулейкиным законом падения температурной аномалии при проникновении теплового потока в глубь материка.

Рисунок показывает новое температурное поле Северного полушария. Оно отвечает последней фазе уничтожения дрейфующих льдов, когда они будут растоплены прямотоком теплых атлантических вод, идущих через Атлантический бассейн в Тихий океан.

Когда же морские льды будут уничтожены и мы после определенной паузы снова увеличим перекачку с частичного объема до первоначального — 140 000 км³/год, в поверхностных водах Мирового океана начнется дальнейшее общее повышение температуры (так же, как и в нижнем слое тропосферы [1]). Это будет означать, что начался третий и затем четвертый этапы мелиорации климата.

Итак, на первом этапе климат будет улучшен настолько, что мы как бы вернемся в климатические условия IX—X вв. н. э. В то время ледниковый покров Арктического бассейна распадался летом и восстанавливался зимой в небольшом объеме. Такое сезонное изменение ледовитости будет напоминать современный ледовый режим, например, Охотского моря, в котором морские льды полностью исчезают летом и восстанавливаются зимой на площади в среднем до трех четвертей поверхности моря.

По истечении первого этапа мелиорации зимы станут менее суровы. Возрастет вегетационный период, сократятся ранние осенние и поздние весенние заморозки. Уменьшится частота засушливых лет. Общее улучшение климата благоприятно скажется на многих областях деятельности человека, в том числе и в особенности — на сельскохозяйственной.

Первый этап продлится недолго — два-три года, так как продолжительность его будет диктоваться больше научно-техническими соображениями, чем биологическими.

На втором этапе произойдут изменения несравненно более крупные. При этом климатические результаты окажутся непропорционально большими в сравнении с теми усилиями, которые будут затрачены на последующие этапы. Это связано с тем, что изменение фазового

[1] Тропосфера — нижняя часть атмосферы, особенно подверженная воздействиям со стороны земной поверхности. Она простирается от поверхности Земли до высоты 8—10 км в полярных, 10—12 км в умеренных и 14—18 км тропических широтах. В ней сосредоточено более $^3/_4$ всей массы атмосферного воздуха.

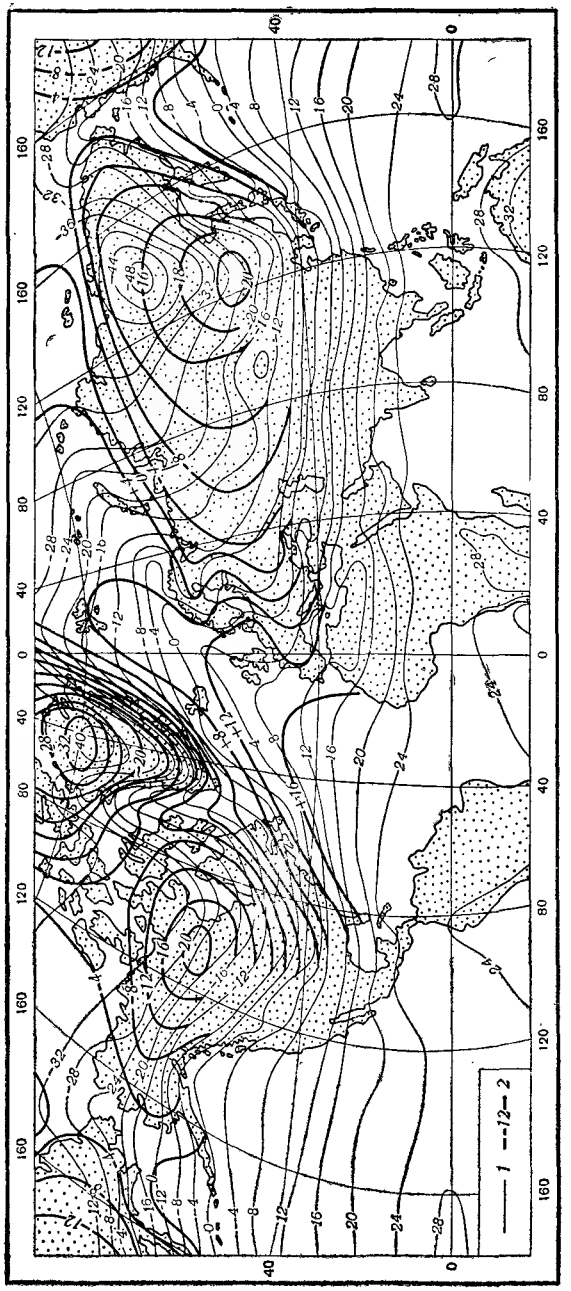


Рис. 29. Карта январских изотерм воздуха на уровне моря
1 — изотермы современные;
2 — изотермы второго этапа мелиорации

состояния поверхностной воды приведет к тепловому скачку — солнечная радиация (ранее благодаря льду и снегу в значительной части бесполезно отражавшаяся в мировое пространство) будет теперь более усиленно поглощаться очистившейся ото льда водой. В советском секторе Арктики температура больше всего повысится именно в тех областях, в которых ныне наблюдаются наиболее низкие температуры. Температурное поле второго этапа, графически представленное на рис. 29, свидетельствует об этом достаточно наглядно.

Благодаря тому, что поверхностный поток теплых атлантических вод будет более равномерно прогревать поверхностные воды Арктического бассейна, температуры вдоль всего побережья Евразии значительно выравняются. Причем этот уровень превысит настоящий и тот, который был в климатических оптимумах на протяжении всего антропогена. Словом, прямоток не только прибавит тепла, но и распределит его более равномерно вдоль всего побережья Евразии и Северной Америки. Возьмем, к примеру, участок между Лофотенскими островами, где январские температуры 0°, и островами Новосибирскими и Врангеля, где январские температуры —30°, или островами св. Диомида, где в январе —20°. Как видим, разница январских температур между ними доходит сейчас до 30°. При новом тепловом режиме эта разность составит всего 8—10°, причем сам температурный уровень станет более высоким: 8° — на Лофотенских островах, а на островах Восточно-Сибирского и Чукотского морей 0°.

Арктический бассейн, полностью освободившись от покрова дрейфующих льдов, откроется для круглогодичной навигации. Весь год будут курсировать суда и по дальневосточным морям, и по устьям северных рек приатлантического сектора Арктики.

На северо-западе Европейской территории СССР зимний климат будет, как сейчас в Дании и Южной Норвегии, а климат Северного Урала и Таймыра, как в нынешней Центральной Швеции. В Московской области установятся столь же теплые зимы, какие в наши дни наблюдаются в Западной Украине.

На обширных пространствах Западно-Сибирской низменности температура в январе поднимется на 10—20°, причем ближе к побережью Арктического бассейна температура повысится. Так как с уничтожением арктических льдов будут значительно нейтрализованы обвалы холодного арктического воздуха, то новый тепловой режим позволит возделывать здесь сельскохозяйственные культуры примерно в объемах, принятых на северо-востоке Украины. На территории Северо-Сибирской низменности зимние условия будут такими же, как на Среднем и Нижнем Поволжье, а на территории Восточно-Сибирской низменности —одной из наиболее холодных и континентальных областей СССР — установятся температуры, которые сейчас свойственны Западному Уралу, но и здесь у климата появится больше «океанических» черт, т. е. он станет менее континентальным.

Территории, занятные сейчас арктической и редколесной тундрой (почти 35% площади СССР), повысят свою биологическую и хозяйственную продуктивность и станут широкой ареной животноводства.

Вечная мерзлота, охватывающая сейчас 47% территории СССР, исчезнет в верхнем горизонте, который станет более доступным для нормального промышленного и сельскохозяйственного использования.

Нас выматывают резкие зимние похолодания, которые порождаются обвалами переохлажденных воздушных масс Арктики и влиянием области Сибирского максимума. Эти похолодания сильно ослабнут: они станут несравненно более редкими и куда менее значительными. Огромный урон, наносимый нашей стране почти ежегодным вымерзанием озимых на миллионах гектаров, будет устранен.

Поздние весенние и ранние осенние заморозки тяжело переживаются сейчас растительным и животным миром; в ряде случаев они бывают даже губительны. При потеплении заморозки ослабнут и со временем даже устранятся. Длительность безморозного периода для всех районов СССР, включая и горные, возрастет.

Зимы таких холодных городов, как Пермь, Свердловск, Омск, Новосибирск, Иркутск, где среднеянварские температуры —16°, —19°, потеплеют. В новых условиях они будут напоминать современные зимы соответственно Харькова, Воронежа, Волгограда, Саратова, Куйбышева.

Якутск, Верхоянск сейчас всем известны как области «полюса холода»; зимние температуры доходят здесь до —50°, —60° и даже ниже. Будущее потепление установит в районе Верхоянска такие температуры, какими

сейчас отмечены Львов и Киев; в Якутске будет так же тепло, как в Курске и Астрахани. Полюс холода, расположенный ныне в Оймяконе, потеплеет и вынужден будет изменить прописку. Он переместится в тот район, где смыкаются рубежи Советского Союза, Монгольской Народной Республики и Северного Китая. Изменив местожительство, «полюс холода» будет вынужден одновременно и повысить свою абсолютную температуру. Его средняя январская температура приблизится к —20° взамен нынешней —48°. В Оймяконе же средняя январская температура дойдет до —16°, —18°, т. е. потепление возрастет на 30° и более. Самой холодной областью Северного полушария станет Гренландия, в ее центре будут господствовать январские температуры — до —32° вместо современных —40°.

Континентальность климата ослабнет повсеместно, но больше всего она снизится как раз в самой континентальной области СССР — Сибири. В благоприятных изменениях большую роль сыграет угнетение сибирского антициклона. Зимы Восточной Европы, Средней Азии и Сибири станут менее суровы. Ослабнет зимний муссон и заметно потеплеют воды побережья дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана.

Значительно увеличится продолжительность навигации по всем рекам СССР. Что же касается Волги с ее большими искусственными морями при гидроэлектростанциях, то она будет открыта для навигации круглый год. Круглогодичная навигация установится и в бассейнах западнее Волги.

По всей территории СССР северные границы органического мира циркумполярно сместятся с юга на север. Огромные области воскреснут для более богатой органической жизни. Увеличится продолжительность вегетационного периода, а на юге настолько потеплеет, что можно будет ежегодно систематически снимать два полноценных урожая.

Арктический бассейн превратится в одну из самых продуктивных провинций Мирового океана. Причем наибольшую продуктивность дадут промыслы вдоль всего советского побережья (от Баренцева до Чукотского морей), поскольку пояс континентальной отмели, охватывающий побережье, особенно благоприятен для развития морской фауны.

Несравненно более доступными станут огромные минеральные богатства северных и восточных районов страны, которые сейчас «забаррикадированы» холодным летом и длительной суровой зимой.

Поверхностные воды Атлантики и Северного Ледовитого океана, потеплев, насытят влагой воздушные массы, покрывающие эти бассейны. Возрастут осадки. Засуха в засушливых районах существенно сократится, а аридность наших пустынь и полупустынь уменьшится. Реки благодаря увеличившимся осадкам будут более полноводными и заставят наши гидроэлектростанции вырабатывать значительно больше электроэнергии — практически без дополнительных финансовых затрат. Прирост электроэнергии настолько увеличится, что перекроет расход электроэнергии на межокеаническую переброску воды в Беринговом проливе.

Климат улучшится и за пределами СССР — в Западной Европе, Монголии, Северном Китае и Японии.

Канадский зимний антициклон, который господствует на северо-американском континенте, ослабнет, а это, естественно, улучшит климат на большей части континента. Между субарктическим климатом северо-восточных равнин (с продолжительной зимой, низкими температурами, коротким прохладным летом, небольшим количеством осадков) и южным поясом прерий сейчас существует контраст. Он будет сглажен за счет повышения зимних температур. Континентальность снизится. Вегетационный период возрастет, и холодные равнины, потеплев, смогут принять более тепло- и влаголюбивую растительность, в том числе сельскохозяйственные культуры.

Вспомним, сколько исследований и проектов было посвящено тому, чтобы нейтрализовать влияние холодных течений Баффиновой Земли, Лабрадора, Кабота и других на восточное побережье Северной Америки. В новых условиях их влияние значительно ослабнет, и климат Северной Америки, наконец, потеплеет. Залив св. Лаврентия откроется для круглогодичного плавания. В проливах Канадского арктического архипелага можно будет плавать в течение всего года, часто даже без сопровождения ледоколов.

Экстрааридность Сахары и других пустынь мира снизится, и они станут более обитаемыми, чем ныне. То же

самое произойдет с нашей Среднеазиатской пустыней. Существует неверное мнение, будто эта пустыня повинна в иссушении нашего юга. Опровергая это мнение, советский климатолог А. А. Каминский утверждал обратное: «. . . не приток сухого воздуха из раскаленной пустыни Средней Азии благоприятствует возникновению засух в степях юга Европейской части Союза и в Казахстане, а, наоборот, северные воздействия создали и сохраняют названную пустыню».

Атмосферная и гидросферная оболочки Земли представляют собой как бы неразрывное целое — они «сцеплены» между собой трением, тепло- и влагообменом. Поэтому потепление в высоких широтах Северного полушария повлечет за собой потепление и в полярных широтах Южного полушария. Морское сообщение вдоль побережья Антарктиды станет более доступным, что упростит ее связь с остальным миром. Континентальный антициклон, господствующий над Антарктидой, несколько ослабнет и не будет столь непрерывным, как сейчас. Затоки воздушных масс, которые поступают с окружающих океанов, смогут тогда более свободно проникать в глубь материка, в центральные районы Антарктиды; а в настоящее время антициклон упорно держит оборону, лишь изредка пропуская эти затоки. Больше будет осадков, баланс льда антарктического щита также улучшится.

Более благоприятной для мирового климата станет в новых тепловых условиях и общая циркуляция атмосферы. Это будет касаться любой области земного шара. В пользу такого утверждения свидетельствуют палеогеографические данные и те следы растений, которые найдены в геологических разрезах различных областей земной поверхности.

Но попытаемся не заглядывать в глубь веков, а будем искать доказательства в нынешнем времени, в сегодняшних наблюдениях над живой природой, в которой, как в уменьшенной модели, спрессовано время. Чтобы не сопоставлять между собой огромные периоды, исчисляемые десятками тысяч лет, сравним обыкновенные сезонные колебания, которые можно наблюдать ежегодно. Так, в январе температурный контраст между экватором и Северным полюсом составляет 56°, а в июле — всего 28°. Это объясняется только тем, что летом на полюсе температура повышается до 0°, в то время как на экваторе, если

мы вспомним, температурный режим практически постоянен: 27°—28°.

И вот в летний период, когда температурный контраст ослабевает с 56 до 28°, режим атмосферы становится спокойнее, осадков выпадает больше, континентальность умеряется.

Когда будет создан прямоток, в центре Арктического бассейна температурный режим в январе приблизится к современному летнему режиму. Естественно поэтому ожидать, что в циркуляции атмосферы и в ее тепло- и влагообмене с Мировым океаном наступят те же положительные изменения, которые сейчас наблюдаются лишь летом. При прямотоке они будут более продолжительными — охватят часть весны и осени.

Погодные и климатические флуктуации [1] возможны и при новом тепловом режиме. Однако они будут происходить куда реже, и их амплитуда не будет столь большой. Если долгосрочные прогнозы (порядка нескольких лет) станут достаточно точными, то мы сможем предупреждать эти отклонения. Система прямотока настолько гибка, что позволяет регулировать поверхностную температуру Северной Атлантики, Европейского и Арктического бассейнов. Когда долгосрочный прогноз предскажет нам нежелательное похолодание или потепление, то путем регулирования прямотока можно будет «срезать» эти отклонения от нормы прежде, чем они разовьются.

Словом, управляемый, хорошо регулируемый прямоток станет истинным терморегулятором в северной очень холодной области Мирового океана, а отсюда — и планетарным регулятором климата.

Прежде чем переходить от второго к третьему этапу преобразования климата, необходимо тщательно выяснить, как растительный и животный мир отреагирует на смену экологических условий. Сегодня трудно определить, с какой скоростью растительные сообщества будут менять свои границы. Ботаники, несомненно, найдут средства, чтобы лес мог быстрее занять пространства, которые для него отвоюет тепло, чтобы северная граница леса быстрее подвинулась к побережью полярных морей. В условиях современного потепления Арктики эта скорость составляла

[1] Флуктуации — беспорядочные отклонения значений случайных величин в обе стороны от среднего значения.

Рис. 30. Схематическая карта растительности на территории СССР в эпоху мгинского межледниковья (по Т. Д. Боярской)

1 — горные тундры и альпийская растительность;
2 — тундры равнин;
3 — лесотундры;
4 — леса лиственничные и смешанные (равнин и плато);
5 — лиственничные и смешанные (горные);
6 — темно-хвойные и светло-хвойные;
7 — темно-хвойные;
8 — хвойно-широколиственные;
9 — широколиственные;
10 — сосново-кедровые с примесью ели и широколиственных пород;
11 — лиственично-березовые с примесью темно-хвойных и широколиственных пород;
12 — смешанные хвойные с незначительной примесью широколиственных пород;
13 — мелколиственные с примесью широколиственных пород;
14 — лиственничные и смешанные остепненные;
15 — хвойные и мелколиственные с остепненными участками;
16 — светло-хвойные и мелколиственные со степями;
17 — кедровые и еловые со степями;
18 — кедрово-сосновые и березовые;
19 — елово-сосновые и березовые с породами:
20 — широколиственными;
21 — мелколиственными;
22 — темно-хвойными;
23 — степи;
24 — пустыни;
25 — граница морской трансгрессии

около километра в год. Пониженный объем перекачки, на который надо будет пойти после уничтожения дрейфующих льдов, не должен быть слишком продолжительным. После того как осуществится второй этап мелиорации климата и затем будет выдержана пауза в несколько лет, вновь начнется увеличение объема перекачки, а вместе с ним и новая ступень улучшения климата, когда последний по возможности приблизится к уровню микулинского межледниковья.

В Центральной Европе средние годовые температуры возрастут против второго этапа примерно на 0,5° С. При сохранении в принципе той же рисовки изотерм (рис. 29) ареалы минусовых изотерм несколько сократятся за счет расширения плюсовых изотерм. Следом за изменением границ изотерм изменятся границы растительности.

На рис. 30 изображена карта растительности на территории СССР во время мгинского (микулинского) межледниковья. Практически это карта растительности предполагаемого третьего этапа преобразования климата — ведь он, как уже говорилось,

эквивалентен климату именно этого периода антропогена.

Зона тундры и лесотундры, как видим, сократится до очень узкой полосы, которая к тому же на западе, видимо, совсем исчезнет и сохранится лишь на побережье Восточно-Сибирского моря и дальше на восток. Полярное побережье Европейской части СССР покроется хвойными лесами. Сильно продвинутся на север широколиственные леса. До меридиана Москвы дойдут с запада атлантические древесные породы, бук и граб в том числе. Широколиственные древесные породы как примесь к хвойным лесам расселятся от Урала к Дальнему Востоку. Под напором лесостепи несколько сместятся на юг северные границы пустынь Средней Азии.

На территории СССР, как, впрочем, и на всех континентах, растительный мир (по сравнению со вторым этапом) обогатится тепло- и влаголюбивыми породами.

На четвертом этапе, который явится эквивалентом лихвинского межледниковья, потепление будет продолжаться. В Центральной Европе средняя годовая температура дополнительно возрастет еще на 0,5°. Обратимся снова к рис. 29 и увидим, что это дополнительное потепление еще больше сожмет и сместит ареалы минусовых изотерм, а изотермы с положительным знаком расширятся. Изотермы —20° и —18° на североамериканском и азиатском континентах исчезнут. Исчезнут, видимо, изотермы —32° и —30° с поверхности гренландского ледяного щита. Зато январская изотерма 8—9°, проходящая по Шпицбергенскому течению, опишет весь Шпицберген и приблизится к Земле Франца Иосифа.

Принципиальные черты температурного поля сохранятся в основном такими, какими они были на втором и третьем этапах. В расселении растительности будет отмечаться некоторое дальнейшее смещение северных границ растительных зон в сторону полюса.

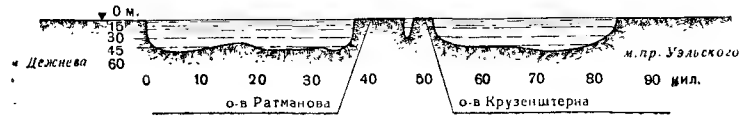
Вопросы практического осуществления

Говорят, что непоборимы торосы Ледовитого океана. Это ошибка: торосы поборимы, непоборимо лишь людское суеверие.

С. О. Макаров

Достаточно взглянуть на карту Северного полушария, чтобы увидеть, как изумительно выгодно географическое расположение Берингова пролива для водообмена двух величайших океанов через третий: Атлантического и Тихого через вытянутый вдоль нулевого меридиана Северный Ледовитый океан. Не удивительно поэтому, что еще с прошлого века пытливая человеческая мысль неоднократно обращалась к Берингову проливу, справедливо ища здесь ключ к тайне управления климатом. Холодное дыхание Северного Ледовитого океана, Арктический бассейн которого покрыт наиболее застойными льдами и заслуженно имеет славу «мешка со льдом», подгоняло эту мысль. Казалось, сама природа указывает канал, по которому надо доставить тепло, чтобы ликвидировать ледяное покрывало Полярного бассейна.

Общая ширина Берингова пролива (рис. 31) — 85,2 км; в наиболее же узкой части, в створе островов св. Диомида — 74 км. В этом сечении он довольно мелководен. Его максимальная глубина — 59 м. Средняя же глубина равна 50 м, поэтому живое сечение имеет площадь 3,76 км^2. Если через эту горловину пропускать проектируемые 140 000 км^3/год, то перегоняемые воды разовьют среднюю скорость 1,2 м/сек.



Масштаб:
горизонтальный 1 мм = 1 км
вертикальный 1 мм = 5 м

Рис. 31. Схематический профиль дна Берингова пролива

То, что пролив в годы сооружения плотины и в первые годы перекачки будет загромождаться дрейфующими льдами, — обстоятельство очень важное. Поэтому с ним надо познакомиться ближе.

По данным лоций [1] навигация в Чукотском море открывается в период от 25 июня до 18 июля и прекращается 11 ноября—15 декабря. Наиболее раннее полное замерзание отмечено 6 сентября и наиболее позднее 6 февраля. Ежегодно с конца сентября на юге Чукотского моря уже образуется лед. В октябре-ноябре дуют северные ветры. Через обширные пространства между островом Врангеля и побережьем Аляски они пригоняют в Чукотское море из Центральной части бассейна ледяные массы, которые заполняют все море. Продвигаться к Берингову проливу становится трудно — движение тормозят пригоняемые льды, их с каждым днем становится все больше. Зимой движение льда хотя и сильно замедляется, но почти никогда не прекращается полностью.

В ноябре-декабре под воздействием ветра возникают торосы, образуемые преимущественно молодыми льдами. Отдельные скопления льдов, массивы и ледяные поля движутся с неодинаковой скоростью, на их окраинах лед то нагромождается, то разрежается. От этого в свою очередь возникают полыньи и разводья, которые при низких зимних температурах быстро затягиваются молодым льдом. В результате всех разнонаправленных движений ледяной покров уплотняется. Примерно с февраля процессы торошения начинают захватывать более старые ледяные скопления. Тем не менее сила ветра такова, что он способен эти уплотнившиеся ледяные массивы перемещать на большие расстояния и вытеснять лед на берег. Если

[1] Лоции — отрасль науки кораблевождения, научное описание водных бассейнов с точки зрения безопасности плавания по ним.

взглянуть на этот ледовый покров с самолета, то нередко можно увидеть, как все пространство от Берингова пролива до мыса Шмидта забито тяжелыми торосистыми льдами.

Однако если с материка дуют затяжные ветры, то они отжимают лед от берега. Тогда под берегами образуются обширные разводья. Были случаи, когда от Берингова пролива до мыса Сердце-Камень на всю видимость горизонта с самолета (примерно 80 миль) море было свободно ото льда. Такое временное очищение моря или образование значительных разводьев наблюдалось в ряде зим. Но обычно береговой припай крепок, его мощность, как правило, достигает 145—175 см.

Торосы образуются благодаря подводному течению, приливам—отливам и ветрам. Наибольшее нагромождение вызывает ветер. Чем он сильнее и капризнее, тем больше «натворит» торосов. В свое время В. Ю. Визе писал, что наиболее благоприятный для торосообразования, очевидно, такой режим, когда свежие и сильные ветры часто меняют свое направление, т. е. беспокойный режим атмосферы. Столь же велика роль ветра и в разрушении берегового припая, который обычно лимитирует начало навигации.

Наиболее крупные подводные торосы и другие виды подводных нагромождений заносятся в Чукотское море из Восточно-Сибирского — с севера и северо-востока. Мощные монолитные льды обладают толщиной от 3 до 11 м, а толщина некоторых скоплений достигает 20 м, причем подводная часть не превышает 13 м. Однако в горизонтальном направлении эти скопления не очень обширны — их площадь не выходит за пределы нескольких десятков метров.

Словом, наиболее мощные скопления льдов, обнаруженные в Чукотском море, — это не его «родные» льды, а «пришельцы» из более суровых областей Арктического бассейна. Их пригнал сюда главным образом ветер, а не приливы—отливы, амплитуда которых в Чукотском море незначительна. И морские течения здесь не очень виноваты. При тех скоростях, которые они могут развить в Арктическом бассейне, им не под силу создать ледяные нагромождения, подобные нагнанным и сотворенным ветром.

Такова характеристика ледяных полей, которые приблизятся к довольно узкому жерлу Берингова пролива.

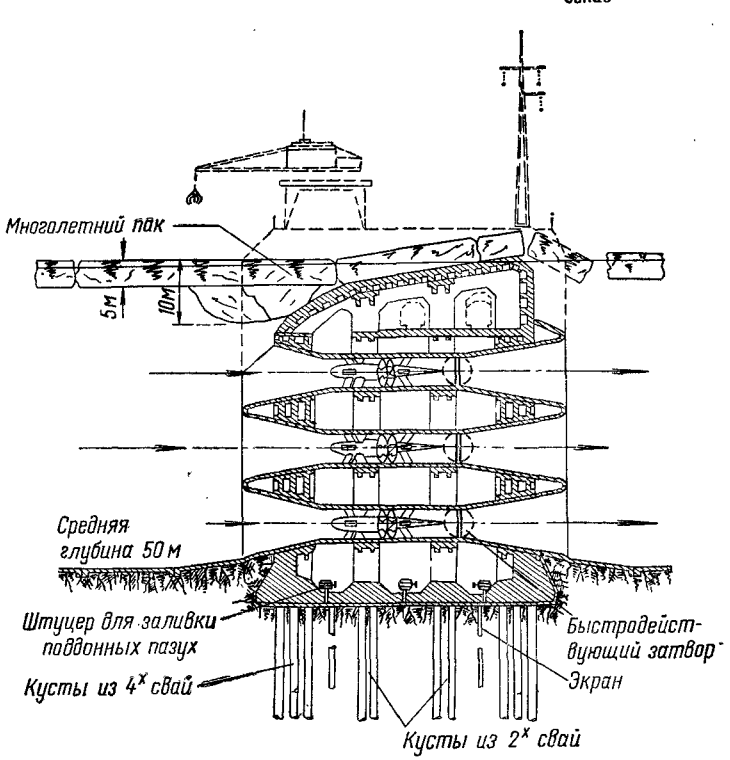


Рис. 32. Поперечный разрез плотины

Не забьют ли они пролив так, что удушат переброску вод из Чукотского моря в Берингово? Расчеты опровергают и это опасение.

Глубина моря в районе возможных створов будущей плотины, через которые должны идти перекачиваемые воды и льды, составит 55—60 м. Мы же видели, что подводная часть многолетних паковых льдов не превышает, как правило, 13 м. Площадь их невелика. Следовательно, льды не могут уменьшить живое сечение плотины более чем на 5—10%.

Наряду с этим в штормовые дни (в среднем 50 дней в году) возможны сильные подвижки ледяных полей с севера на юг. Встречая жестокое сопротивление, оказываемое телом плотины, большие скопления льда могут наблюдаться у ее северной кромки аналогично отмеченным выше нагромождениям у побережий. Поэтому верхнему ярусу плотины необходимо придать достаточно обтекаемую форму (рис. 32). Что же это даст?

Напирающие льды будут стремиться опрокинуть плотину. При обтекаемой форме ее верха направленные по горизонтали усилия сведутся к минимуму. Энергия напирающего льда будет расходоваться тогда не на опрокидывание плотины и не на создание ледяных нагромождений, а на то, чтобы вползти ледяным полям на кровлю плотины и затем сползти и сброситься на южный бьеф [1]. Обтекаемая форма облегчит и вползание и сброс. При таком очертании верха плотина сможет пропустить многолетний пак толщиной до 5 м и отдельные скопления толщиной до 10—12 м. Если при рабочем проектировании возникнет необходимость, то очертания плотины можно изменить так, что она пропустит еще более мощные ледяные поля и отдельные нагромождения.

Скольжение льда по кровле плотины можно облегчить настолько, что сила трения льда о кровлю сведется до безопасного минимума. Во всяком случае она будет меньшей, чем сила трения льда о подводные борта и днище «Фрама», которые, как известно, блестяще выдержали подвижки и торошение ледяных полей в центральных областях Арктического бассейна, где торосообразование самое сильное — более сильное, чем в Чукотском море.

Здесь следует иметь в виду еще одно важное обстоятельство. В воронке Чукотского моря льдам перемещаться легче, чем, например, в проливе Шпицберген — Гренландия. Во-первых, Берингов пролив расположен на 1500 км южнее пролива Шпицберген — Гренландия, а во-вторых, нижняя поверхность дрейфующих льдов будет систематически омываться проточными водами. Более южное положение обеспечивает больше солнечного тепла. Температура же проточных вод на несколько десятых градуса превысит температуру замерзания. Опыт северных гидроэлектростанций показал, что проточные воды заметно подтачивают и мощность, и прочность ледяных скоплений, которые образуются при входах в плотину. Наблюдения за состоянием льдов у выхода реки Ангары из Бай-

[1] Бьеф — участок акватории, расположенный до (северной) и после (южной) кромки плотины, считая по ходу движения водных масс и льда.

кала показывают, что место выхода вообще не замерзает. Температура же воздуха зимой в Беринговом проливе не ниже, чем у места выхода Ангары; соленость же выше, что замедляет образование льда и снижает его прочность.

Приведенные данные по конструкции плотины не исчерпывают всех мер по предупреждению или ослаблению скоплений льда на северном бьефе. Отметим некоторые другие возможные меры:

— перенос створа плотины под укрытие островов св. Диомида или даже в проливы Чирикова и Шпанберга в створ острова св. Лаврентия, температурные условия которых лучше, чем в Беринговом проливе; скорости на подходе к плотине можно уменьшить в полтора раза; ветровой режим более спокойный, что ослабит напор льдов на плотину;

— создание ледяного барража [1] севернее створа плотины;

— зачернение в светлую часть года поверхности ледяного покрова и производство круглогодичного воздушного барбатажа в целях ослабления прочности льда и некоторого уменьшения его мощности;

— дробление скоплений льда мощными ледоколами и взрывчаткой с использованием вертолетной и подводной служб;

— создание специальных насосов для пропуска через них мелкобитого льда;

— организация периодического отжима в случае образования опасных ледяных нагромождений у северной кромки плотины в объеме современного потока с юга на север — 4 км³/час — путем установки в верхнем ярусе плотины насосов реверсивного типа.

Что же будет из себя представлять плотина?

Прежде всего она должна отвечать тем географическим, гидрологическим, климатическим и сейсмическим условиям, которые диктует обстановка в Беринговом проливе. К тому же надо учитывать, что плотина будет сооружаться в районе, который значительно удален от индустриальных центров и обжитых районов. Железнодорожной связи здесь нет, навигационный период ограничен. Строительство же потребует, чтобы сюда была доставлена огромная

[1] Барраж — система сооружения, защищающая объект от разрушающих факторов.

масса высокотоннажных грузов. Поэтому конструкция плотины должна обеспечивать наибольшую сборность из наиболее крупных блоков, доставляемых морем на плаву.

Успехи производства последних лет в области железобетона, специальных высокомарочных гидротехнических цементов, повышения точности расчетов тонкостенных конструкций позволяют принять предварительное решение о выполнении плотины из отдельных объемных секций в виде блоков-понтонов. Основной материал — морозостойкий железобетон; внутренние конструкции — затворы, перегородки, площадки, лестницы и другие — преимущественно из конструкционных сплавов алюминия.

Размер блоков-понтонов определяется шириной плотины без обтекателей, но не менее 40 м; по длине — условиями транспортировки морем, но не менее чем 250 м; по высоте от 20 до 60 м, так как их высота определяется глубиной места установки.

Конструкция блока коробчатая, типа пчелиных сот. По высоте число ячеек определяется высотой секции от одной до трех; по длине — длиной секции, но не менее 20. Коробчатая конструкция блока с внутренними приемными и выкидными конусами (конфузоры и диффузоры) насосных систем позволяет одновременно использовать внешние ограждевия конструктивных элементов и для целей ограждения, и для восприятия нагрузки. Необходимая прочность ферм в меридиональной плоскости может быть получена без чрезмерного загромождения внутреннего объема плотины. При напоре льда в обоих меридиональных направлениях устойчивость блоков обеспечивается достаточно развитой сетью анкерных (закрепляющих) тяг.

Блоки-понтоны будут изготовлены с таким расчетом, чтобы еще до сдачи плотины в эксплуатацию их можно было использовать для нужд строительства (причалы, склады, мастерские, брандвахты и пр.).

Когда дрейфующие льды будут уничтожены, обтекаемый верх плотины реконструируется — одна сторона будет отведена под двухпутную железную дорогу нормальной колеи, другая — под автостраду с двухрядным движением автомашин в обе стороны.

Словом, конструкция плотины, технология ее изготовления и монтажа ответят той идее сборности максимально

крупными блоками, которая является главной в современной строительной индустрии, — возможно больший объем работ следует произвести на мощных строительных базах с тем, чтобы на месте сооружения плотины осталось только смонтировать готовые блоки.

Изготовляться секции плотины должны на предприятиях типа судоверфей в теплом климатическом поясе близ индустриальных центров. Вероятные пункты изготовления — Владивосток, порты западного побережья США и Канады, японские судостроительные фирмы.

Доставляться в Берингов пролив они будут на плаву. Когда блоки плотины прибудут в Берингов пролив, их будет ожидать здесь соответственно подготовленное морское дно. В зависимости от геологического строения дна блоки будут заанкерены либо с помощью свай, либо бурением.

Прочность блоков, устойчивость их и усиленный анкераж будут таковы, что плотина сможет без дополнительных дорогостоящих сооружений воспринимать горизонтальные нагрузки волн, льда и течений. Подобный тип плотины возвести значительно быстрее и дешевле, чем обычные монолитные плотины.

Данные лоций Берингова моря о гидрометеорологической и гидрологической обстановке показывают, что транспортировать блоки до Берингова пролива в сопровождении ледокола можно в течение пяти-шести месяцев. Береговая зона здесь изрезана, а глубины благоприятны настолько, что блоки можно будет «складировать» неподалеку от створа плотины. Поскольку современные суда благополучно зимуют в глубине берегового припая и особенно в бухтах и заливах, зимний отстой блоков опасности не представляет. Следовательно, сезон производства работ вовсе не ограничивается ледоставом в Беринговом проливе и в северной части Берингова моря. Установку блоков и внешние работы можно будет вести в течение шести месяцев в году, анкераж блоков — в течение восьми-девяти месяцев, а все виды внутренних работ — круглогодично.

Поскольку приливы — отливы и в Беринговом море, и в соседних акваториях незначительны, они не осложнят ни строительство плотины, ни ее эксплуатацию.

В плотину будут встроены специальные поворотно-лопастные насосные агрегаты осевого, прямоточного

типа. В таких агрегатах электромотор, редуктор и сам насос объединены в закрытый обтекаемый моноблок. Регулировка угла поворота лопастей насоса связана автоматической блокировкой с положениями уровней южного и северного бьефов, которые могут меняться как от направления ветра, так и от приливо-отливных течений. На случай остановки насосного агрегата северный и южный бьефы разобщаются быстродействующими затворами.

Весь комплекс гидротехнических сооружений при надлежащей целеустремленности заинтересованных стран может быть сооружен в течение восьми—десяти лет.

Определение расхода электроэнергии на переброску вод встречает определенные трудности при вычислении превышения уровня южного бьефа над северным. Поэтому на первой стадии ограничимся приближенными оценками следующих главных компонентов: для обеспечения скорости потока воды на прием к насосам (скоростной напор) — 5 см; на преодоление сопротивлений движению воды в пределах шельфа Чукотского моря (потерянный напор на приеме) — 10 см; при перекрытии Берингова пролива с южной стороны плотины будет создан подпор тихоокеанских вод (статический напор) — 10 см; на преодоление сопротивления движению воды в пределах шельфа Берингова моря (потерянный напор на выкиде) — 5 см; не учтенные потери — 5 см. Всего — 35 см.

Отсутствие количественных данных не позволяет включить в расчет направление и силу ветра. Известно лишь, что в Чукотском море преобладают ветры с северной составляющей, т. е. общее направление ветров благоприятствует переброске воды с севера на юг.

Потребная мощность на привод насосов при суммарном напоре 0,35 м составит

$$W = \frac{140 \times 10^3 \times 10^9 \times 10^3 \times 0{,}35}{31{,}5 \times 10^6 \times 102 \times 0{,}7} = 22 \text{ млн. квт},$$

где $140 \times 10^3 \times 10^9 \times 10^3$ — годовой объем перекачки, кг; $31{,}5 \times 10^6$ — число секунд в году; 102 кг·м/сек — эквивалент 1 квт; 0,7 — общий коэффициент полезного действия насосных систем.

Принимая расход на вспомогательные нужды 5%, потери в сетях и на трансформацию в пределах плотины 4%, потребная мощность с округлением составит

$22 \times 1{,}05 \times 1{,}04 = 25$ млн. квт, для сравнения напомним: мощность Братской ГЭС — 4 млн. квт, Красноярской — 6 млн., проектируемой Нижне-Ленской ГЭС — 20 млн. квт.

Где же взять эту электроэнергию? К 80-м годам в строй войдут атомные электростанции, экономические преимущества которых во многом очевидны. Однако это не единственное решение. Гидроэнергозапасы имеются в Британской Колумбии и у нас на Чукотском полуострове. В последние годы обнаружены нефть и газ на Аляске, где запасы исчисляются миллиардами тонн, в Северной Канаде, а у нас в устье реки Вилюй и в районе Верхоянского прогиба. Можно рассчитывать, что и в этих районах будут открыты крупные и высокорентабельные месторождения.

Наконец, электростанции могут быть сооружены на разведанных месторождениях Ленского, Зырянского и более близких угольных бассейнов. Эти месторождения допускают открытую разработку. Электростанции же будут высокоэкономичными, так как будут оборудованы энергоблоками в 1—1,5 млн. квт и выше [1].

В настоящее время проектируются крупные линии электропередач, позволяющие передавать электроэнергию на расстояние в несколько тысяч километров. Такой радиус охватывает многие пункты с большими запасами угля, нефти, газа и электроэнергии. В СССР разрабатываются проекты линий электропередач Енисей—Урал, протяженность которых 2000—3000 км. Подобные линии, если они пойдут в две-три цепи, способны перебросить энергию мощностью до 10 млн. квт. Институт постоянного тока считает целесообразным передавать электроэнергию из Красноярска в Москву. В этом случае дальность передачи увеличивается до 4500 км. Передачу рекомендуется осуществлять по нескольким цепям с годовой нагрузкой каждой из них 25 млрд. квт/час.

Словом, состояние современной энерговооруженности таково, что мы сможем обеспечить насосные системы

[1] Первые блоки такой мощности в США работают на станции Бул Ран — 900 тыс. квт; на станции Ист Ривер — 1000 тыс. квт и др. У нас работают блоки в 500 и 800 тыс. квт, в изготовлении 1000 тыс. квт и проектируются 1200 и 1500 тыс. квт. Мощность электроблока в 1,5 млн. квт не является предельной. Делаются прогнозы на еще бо́льшие мощности до 2000 тыс. квт в одном энергоблоке.

в Беринговом проливе электроэнергией из различных источников. Что же касается сроков, то потребность в электроэнергии может быть покрыта в течение семи-восьми лет с момента, когда будет принято решение о строительстве электростанций и высоковольтных линий.

Во сколько же обойдется строительство уникального гидроузла в Беринговом проливе? Каков предполагаемый объем капиталовложений?

Надо заметить, что когда оценивается стоимость даже таких хорошо изученных сооружений, как крупные речные гидроэлектростанции, все равно неизбежны иногда даже очень большие отклонения, до $\pm 50\%$ от первоначальной проектной стоимости. Еще труднее рассчитать стоимость тех объектов, которые сооружаются в тяжелых природных условиях, при необычайной удаленности от обжитых и промышленных центров.

И все-таки мы должны хотя бы приблизительно определить объем капиталовложений на весь комплекс гидротехнических, промышленных, транспортных и гражданских сооружений, связанных с межокеанской переброской воды в условиях Берингова пролива.

Чтобы сделать предварительный расчет, необходимо знать, сколько стоят крупные сооружения, родственные по характеру. Поэтому мы воспользовались данными специальной литературы по определению стоимости оборудования, различных конструктивных элементов, монтажа и пр. Кроме того, пришлось руководствоваться принципом бесспорности, т. е. при сомнениях мы брали бо́льшую стоимость.

Расчеты показывают, что общий объем финансирования затрат, связанных со строительством гидроузла в Беринговом проливе, составит примерно 24 млрд. рублей. Сюда входят стоимость блоков плотины вместе с их транспортировкой и установкой, стоимость оборудования и металлоконструкций, включая также транспорные расходы и монтаж; стоимость насосных агрегатов; установка обтекателей; сооружение рыбоходов и шлюзов для пропуска судов; отсыпка дамб для авто- и железнодорожных путей; стоимость городов (на западном и восточном берегу пролива на 50 000 жителей каждый), двух морских и двух аэро-портов; стоимость сооружения электростанций со всеми техническими службами и поселками городского типа; стоимость предприятий по добыче топлива для

электростанций также со всеми вспомогательными службами, дорогами, промышленными предприятиями и поселками; стоимость линий электропередач, подсобные промышленные предприятия (спецсудоверфи, дороги, порты, причалы, склады, строительные механизмы, подъемное оборудование и пр.); научно-исследовательские работы, изыскание и проектирование.

Следует отметить, что после окончания строительства часть затрат будет возвращена путем реализации освободившихся строительных механизмов, оборудования, транспортных средств, временных сооружений и т. д. Объем возвратных сумм исходя из строительной практики составит примерно 8%. Тогда истинная, инвентарная стоимость строительства составит 22 млрд. руб.

По направлениям затрат инвентарная стоимость строительства будет иметь следующее распределение: гидроузел в Беринговом проливе — 13,7 млрд. руб.; предприятия по добыче топлива — 1,8; электростанции — 3,5; высоковольтные линии — 3,0 млрд. руб.

Комплекс сооружений в Беринговом проливе обойдется приблизительно 14 млрд. руб., сооружения, связанные с выработкой и передачей электроэнергии, — 8 млрд. руб. Вспомним, однако, что с того момента, когда ледяной покров будет уничтожен, расход энергии на перекачку уменьшится примерно в два раза. Высвободившиеся энергетические мощности могут быть использованы на другие народнохозяйственные нужды. В результате общая стоимость сооружений понизится с 22 млрд. примерно до 18 млрд. руб.

Приведенные расчеты нельзя считать заниженными. Это видно из следующих сопоставлений. Капиталовложения в наиболее крупную электростанцию мира — Красноярскую — составляют 168 руб. на киловатт установленной мощности. Это — так называемое удельное капиталовложение. На строительстве же гидроузла в Беринговом проливе удельное капиталовложение будет исчисляться в 550 руб./квт[1], т. е. примерно в 3,5 раза больше. Удельное капиталовложение на строительстве трех ГЭС — Чебоксарской, Саратовской и Нижне-Камской — составляет 560 руб./квт, т. е. оно почти равно удельному капиталовложению в гидроузел Берингова пролива.

Прямоток благоприятно повлияет на климат не только Советского Союза — в той или иной степени улучшится климат всего земного шара. В осуществлении проекта будут заинтересованы многие страны, поэтому реализовывать его будет международный орган. В зависимости от того, какую экономическую выгоду получит от прямотока каждая из стран, будет определяться ее доля в финансировании, в производстве строительных работ, в поставках оборудования, различных конструкций и материалов, в обеспечении морским тоннажем, электроэнергией и в затратах, связанных с последующей эксплуатацией сооружений.

Долевое участие СССР, вероятно, не превысит 40%, т. е. наша страна должна будет вложить приблизительно 9—10 млрд. руб. Что касается электроэнергии, то поставки СССР, видимо, составят 10—12 млн. квт. Опять зададимся вопросом — реальна ли, посильна ли для нас эта цифра? Достаточно обратиться к последним данным, чтобы убедиться — уже сейчас ежегодный ввод мощностей по выработке электроэнергии в СССР составляет примерно 12 млн. квт. В отношении финансирования строительства оно составит не более чем один процент от возможных вложений в народное хозяйство на ближайшие 10 лет и только 0,3% от возможного финансирования последующего десятилетия.

Осуществление международного проекта «Северо-Американский водно-энергетический союз», о котором мы уже говорили, потребует 100 млрд. долларов, т. е. в четыре раза больше, чем нужно для улучшения планетарного климата.

Реку Миссисипи называют «канализационной трубой США». Сильно загрязнены и многие другие реки и озера США. Чтобы очистить их и оградить от дальнейшего загрязнения, потребуется около 40 млрд. долларов (при этом не учитываются расходы промышленных предприятий на обработку своих сточных вод), т. е. значительно больше стоимости сооружений в Беринговом проливе.

Приведенные цифры показывают, что для улучшения климата нужно затратить вполне доступную и быстро окупаемую сумму.

[1] Чтобы получить эту цифру, надо стоимость строительства гидроузла — 13,7 млрд. руб. — разделить на установленную мощность наносных агрегатов, исчисляемую в 25 млн. квт.

Перспективы дальнейшего улучшения климата

Изменения климата . . . обусловливаются перераспределением мощных океанических течений.

Л. Б. Рухин

Когда на земном шаре начнется потепление, оно будет медленно нарастать и, если мы захотим, пойдет дальше к той цели, которую мы первоначально наметили — достичь климатического оптимума антропогена. Ведь это была цель лишь первых этапов мелиорации климата. Но конструктивные возможности прямотока теплых атлантических вод через Арктический бассейн в Тихий океан гораздо шире, они способны выйти далеко за пределы этих первоначально обозначенных границ преобразования климата.

Наша атмосфера сама по себе тепла не рождает. Она не проявляет здесь никакой инициативы, а послушно следует за температурой морской поверхности. Океан же отдает свое тепло довольно вяло. На теплообмен с атмосферой он тратит не больше 10—15% своего теплового баланса, причем траты эти распределяются по огромному пространству весьма равномерно. Южная Атлантика, Тихий и Индийский океаны отдают атмосфере одно и то же количество тепла — 10 ккал/см^2·год. В центральной области Тихого океана на значительной площади этот расход вообще сводится к нулю и быстро возрастает только в тех районах, где теплые воды вступают в контакт с холодными — Гольфстрим встречается с Лабрадором, Куросио с Ойя-Сиво. Естественно, что когда охлаждающая

роль Северной Полярной области ослабнет, то снизится и расход тепла в этих районах.

На прогрев нижележащих слоев воды тепла расходуется практически очень мало. «Если бы поверхностный слой воды нагревался равномерно и непрерывно до 30°, — отмечал Ю. М. Шокальский, — то после 100 лет на стометровой глубине не было бы никаких изменений температуры воды. После 1000 лет нагревания на глубине 100 м получилась бы температура 7,3°, а на 200 м — 0,6°. Чтобы на глубине 1000 м поднять температуру на 0,01°, необходимо 10 000 лет»[1].

Подстилающая поверхность расходует тепло на длинноволновое излучение. Расход этот пропорционален четвертой степени абсолютной температуры подстилающей поверхности. Но чем выше температура воды, тем выше и влагосодержание атмосферы. Когда увеличивается ее влагосодержание, она в ответ начинает тормозить то длинноволновое излучение, которое идет от поверхностных вод океана. Поэтому при теплой поверхности океана климат в прошлом всегда был благоприятным при неизменной деятельности Солнца. Отсюда вывод — по мере того как межокеаническая переброска теплых поверхностных вод Атлантики через Арктический бассейн в Тихий океан превысит 140 000 км^3/год, еще больше выравняется разница температур между экватором и Северным полюсом. Разрыв между их тепловыми режимами будет сглаживаться не за счет понижения экваториальных температур, а исключительно за счет повышения температуры поверхностных вод Полярного бассейна и за счет более экономной отдачи тепла в межпланетное пространство.

Чтобы представить себе, каков будет климат на земном шаре с ростом межокеанического водообмена в более отдаленном будущем, надо снова оглянуться на климаты прошлого. Исследованиями установлено, что те похолодания и потепления, которые происходили в конце плиоцена (0,5—2,0 млн. лет назад), надо отличать от ледниковий и межледниковий четвертичного периода (20—500 тыс. лет назад). Климатические изменения конца плиоцена были слабее, чем смена ледниковий и межледниковий в четвертичном периоде. К тому же похолодания и по-

[1] *Ю. М. Шокальский.* Физическая океанография, Л., Ленгостранс-издат, 1933.

тепления конца плиоцена происходили на более высоком температурном уровне, чем климатические скачки в четвертичном периоде. Поэтому они не сопровождались такими колоссальными оледенениями континентов и морей в северных широтах.

Даже в эпоху гюнца (самый конец плиоцена), когда произошло наиболее сильное похолодание за время плиоцена, горное оледенение разрослось, но на равнинах, в том числе и на Русской, ледниковых покровов не образовалось. Похолодание в верхнем плиоцене, хотя и увеличивалось по своей общей направленности, все же прерывалось потеплениями. На протяжении его последнего миллиона лет установлено четыре оптимума (табл. 11). Так же, как и оптимумы антропогена, они отражают общий процесс похолодания от палеогена до наших дней, т. е. чем моложе оптимум, тем на более низком термическом уровне он происходил.

Таблица 11

Этапы мелиорации климата второго цикла

Этап	Эквивалент оптимума верхнего плиоцена	Абсолютный возраст, млн. лет назад	Рост среднегодовой температуры в Центральной Европе против современной, °С
V	Предапшеронский (гюнц-миндельский)	0,48—0,55	3,5—4,0
VI	Догюнцевский	0,64—0,80	4,0—4,5
VII	Посттегелен	1,0—1,3	4,5—5,0
VIII	Тегелен	1,3—1,7	5,0—5,5

Температуры, приведенные в таблице, определяют те климатические улучшения, которые характерны для каждого из четырех оптимумов. Причины и закономерности, формировавшие климат на протяжении последних 20 000 лет, определяли его изменения и в более раннюю пору — 1700—480 тыс. лет назад. По мере того как падала температура поверхностных вод Мирового океана, ухудшались климатические условия, которые являются, как мы уже говорили, прямым следствием ухудшения тепло- и водообмена между Атлантикой и Арктическим бассейном. Следовательно, повышая тепло- и водообмен, мы будем восстанавливать климаты верхнего

плиоцена от предапшеронского оптимума до оптимума тегелена.

Не вдаваясь в прогноз климатических улучшений для каждого из указанных этапов, приведем лишь данные, отвечающие климатическим условиям, имевшим место 1,5 млн. лет назад.

Тундра на побережье Арктического бассейна исчезнет — останется только узкая оторочка у Гренландского ледникового щита. На ее месте расселятся леса: хвойные — ближе к Тихому океану, лиственные — ближе к Атлантическому. Широколиственные породы проникнут на северо-запад Камчатки. Лиственные леса займут и Восточную Сибирь, сменив хвойную тайгу. В Западную Сибирь, до Тобольска и в смежные с ним южные области благодаря мягкому теплому климату проникнут атлантические виды древесных пород, в том числе граб и бук. Понизится аридность пустынь Центральной Азии. На территориях наших среднеазиатских пустынь она понизится до такого уровня, что станет возможным возрождение степей.

Субтропические культуры можно будет выращивать в Предчерноморье и в нижнем междуречье Дона и Волги. Потеплеет и станет более стабильным климат Западной Европы. Это произойдет благодаря тому, что из Арктики и области монголо-сибирского максимума поступление холодных воздушных масс еще больше снизится.

На северо-американском континенте произойдут изменения, подобные изменениям на территории Евразии. Величайшей пустыне мира — Сахаре (по крайней мере значительной ее части) будет возвращен климат полупустынь и жарких сухих степей позднего плиоцена.

Но вернемся ненадолго к самому прямотоку. Каким будет он в период всех этих, более далеких изменений? Напомним, что современная среднегодовая температура в Центральной Европе на линии Киев—Варшава—Копенгаген и далее до Глазго составляет 8°. Когда будут восстановлены климатические условия тегелена, температура поднимется до 13,0—13,5°. А для этого необходимо, чтобы среднегодовая температура поверхностных вод Арктического бассейна повысилась примерно до 3—4°. В свою очередь такая температура может быть достигнута при условии перекачки через Арктический бассейн в Тихий океан теплых атлантических вод в объеме порядка 250 000 км³/год, что почти в два раза превышает те

140 000 км³/год, которые, как мы помним, необходимы, чтобы уничтожить ледяной покров бассейна и достичь лучших оптимумов антропогена. Но объем 250 000 км³/год почти не превышает объема вод, которые поступают ныне в Северный Ледовитый океан через Фареро-Шетландский пролив. Следовательно, теплых атлантических вод хватит и на это дальнейшее потепление.

Важен еще один прогноз, еще один климатический результат. Речь идет о нивелировке термического контраста между экватором и Северным полюсом до уровня, который имел место в миоцене или даже в верхнем мелу. Тогда господствовал один из лучших климатов за геологическую историю Земли, что объясняется более интенсивным водообменом между полярным и экваториальным бассейнами. Благоприятному климату способствовали и другие обстоятельства: площадь суши была несколько меньшей, а расчлененность большей, чем сейчас; меньшей была ее высота; пустыни покрывала растительность, альбедо которых было меньше, чем настоящих голых сухих пустынь. Но главное — лучший межширотный водообмен. Полярные широты не были холодными, так как теплые тропические воды имели к ним свободный доступ.

Если повысить среднюю температуру поверхности Мирового океана на 1°, то это даст на континентах такой же термический результат, как если бы они погрузились в океан на 150—200 м. Усилив машинный (искусственный) водообмен между полярным и экваториальным бассейнами, мы вернем те выгоды, которые были утрачены с поднятием Земли над уровнем океана на 150—200 м. Увеличением водо- и теплообмена будет скомпенсировано и то позднейшее расширение суши, которое оказалось неблагоприятным для климата. Наконец, если сократить покрытые снегом площади, понизить альбедо пустынь и т. д., то мы вернем тепло и влагу, которые теряем из-за материковых льдов.

Но тут возникают возражения. Утверждают, что существовали другие причины, кроме межширотного водообмена, благодаря которым в отдаленном прошлом повышалась температура поверхностных вод Мирового океана. Так, например, изменилась светимость Солнца, состав и запыленность атмосферы и др. Однако если эти причины и влияли на климат в течение кайнозоя, то это

происходило не прямо, а только через механизм, в котором конечную и определяющую роль играла опять-таки поверхность Мирового океана. Мы уже видели, как колебания солнечной радиации влияют на трансформацию планетарного климата отнюдь не прямо, а именно и непременно через поверхность океана. Поэтому в конечном итоге не столько важны причины, по которым температура поверхности Мирового океана то повышается, то понижается, сколько тот факт, что эта температура вообще способна изменяться и таким образом влиять на планетарный климат. Образно говоря, работа любой паровой турбины зависит от параметров водяного пара и меньше всего от системы парогенераторов, типа топок и видов топлива (атом, уголь, нефть, газ, дрова и др.).

В будущем, несомненно, возникнет необходимость в еще более крупной планетарной мелиорации климата, чем это мы рассматривали. И она обязательно будет достигнута, поскольку аналогичные климатические условия бывали на Земле уже не раз. Тогда такая крупноамплитудная мелиорация также будет осуществляться не в один прием, а поэтапно. Табл. 12 намечает эти этапы.

Таблица 12

Этапы мелиорации климата третьего цикла [1]

Этапы	Эквивалент оптимума мезо- и кайнозоя	Абсолютный возраст эквивалента, млн. лет назад	Рост среднегодовой температуры в Центральной Европе против современной, °С
IX	Плиоцен	5	6
X	Миоцен	20	9
XI	Олигоцен	35	12
XII	Эоцен	50	14
XIII	Палеоцен	65	14
XIV	Верхний мел	80	15,5

[1] Возраст и температура даны приближенно.

Чтобы достичь мел-палеогенового оптимума, температура поверхностных вод Арктического бассейна должна быть доведена примерно до 12—14°. Вода с такой температурой, переброшенная в Тихий океан, переместится на юг в верхнем 200—300-метровом слое. Она не изменит

современную, достаточно устойчивую вертикальную стратификацию. Турбулентное смешение с нижележащими, менее теплыми водами практически исключено. Избыток теплой атлантической воды, образующийся в северо-западной части Тихого океана, трансформируясь в окружающих поверхностных водах, вольется в обширную циркуляцию центральной области северной части Тихого океана. Избыток поверхностных вод будет выноситься калифорнийским, а затем северо-пассатным течением к западным берегам океана

Трансформированные атлантические воды, пройдя по трассам Северо-Тихоокеанского и Экваториального течений протяженностью около 20 000 км (половина протяженности экватора Земли!), прогреются примерно до 29—30° и переместятся дальше на запад через проливы Филиппинских островов и далее с пассатным течением Индийского океана пойдут на пополнение Игольного течения. Наряду с этим значительная часть будет оттекать на юг по трассе Восточно-Австралийского течения. В обоих случаях и в конечном итоге эти воды через кольцевое течение Западных ветров будут восполнять в Атлантике убыль воды, вызываемую переброской ее в Тихий океан, и тем самым замкнут циркуляцию теплых поверхностных вод между северной и южной полусферами Мирового океана.

Таким образом, от одного импульса, вызывающего сток из Северного Ледовитого океана в Тихий, будет обеспечена циркуляция теплых поверхностных вод вокруг Афро-евразии, Америки и Антарктиды. При этом поверхностные воды дважды пройдут экваториальные и холодные широты.

В тепловом аспекте такая циркуляция будет иметь два цикла охлаждения и два нагрева. Иными словами, создастся своеобразный четырехтактный тепловой «тандем-бинарный» цикл с присущей ему благоприятной технико-экономической особенностью — приложением усилий только в одной точке.

Само собой разумеется, при достаточно большом объеме межокеанической переброски вод температурный контраст между экватором и полюсом мог бы быть сведен к ничтожно малой разнице. В этом случае ландшафтная зональность была бы полустерта: примерно одни и те же виды и роды растений произрастали бы от субтропиков

до современной субполярной зоны (конечно, с поправкой на специфику сезонности солнечного облучения).

При таком теплом и влажном климате полностью исчезли бы не только современные холодные пустыни, но и сухие пустыни — тропические, поскольку в период климатических оптимумов на земном шаре климатических пустынь не наблюдалось.

Что касается пустынь более далекого геологического прошлого (400—500 млн. лет назад), то, как отмечал Ч. Брукс, пустыни того времени были пустынями биологическими, наличие которых объясняется отсутствием в те времена растений, приспособленных к засушливым условиям.

Достижение оптимума, близкого к мел-палеогеновому, потребовало бы переброски через Арктический бассейн теплых атлантических вод в объеме порядка 450—500 тыс. км^3/год. Покрытие энергозатрат на переброску этого количества воды не встретило бы затруднений даже в конце 80-х годов текущего века. Но повышение температуры в Арктическом бассейне до 12—14° вызвало опасение, что за счет таяния льдов Антарктиды и Гренландии неизбежно поднимется уровень Мирового океана. Однако наши ориентировочные расчеты убеждают в том, что увеличение температуры поверхностных вод в Арктическом бассейне у берегов Сибири и Аляски до 12—14° не будет вызывать отрицательного баланса антарктического ледникового щита. Это видно из следующего. Сопоставление тенденций роста среднегодовых температур воздуха в Антарктиде (Литл-Америка, 78° 12′ южной широты) и в Арктике (Шпицберген, 78° 14′ северной широты) показало, что в период потепления последней тенденция к повышению в ней температуры была в два с лишним раза больше, чем в Антарктиде. В 1911—1957 гг. среднегодовой рост температуры в Литл-Америке составил 0,057° С, в то время как на Шпицбергене в 1912—1954 гг. 0,139° С. Отсюда повышение среднегодовой температуры на 78° северной широты с современной —15 до 14° в будущем вызовет рост температуры на той же широте в Антарктиде примерно с —35° до —24°. Если даже температура на 78° южной широты поднимется еще выше, допустим, до —15°, то и в этом случае отрицательный баланс антарктического ледникового щита, как показывают наблюдения над жизнью Гренландского ледника, исключается.

Влияние других ледников, кроме Гренландского, ничтожно. Таяние же Гренландского ледника может вызвать подъем уровня Мирового океана со скоростью в пределах 1—1,5 мм/год. Такой темп, как показала практика последних десятилетий, не вызовет осложнений в хозяйственной деятельности человека. В будущем с ростом выработки энергии и уменьшением ее стоимости это можно будет предотвратить.

Словом, можно будет улучшить климат Земли сверх того уровня, который отвечает оптимумам антропогена и конца плиоцена. Человечество сможет довести температурные условия Арктического бассейна до уровня, близкого к субтропическому. Вспомним, что эти условия неоднократно имели место в реальной природной обстановке в начале кайнозоя и в более отдаленном прошлом и что наглядно проиллюстрировал на своих моделях академик П. П. Лазарев.

Заключение

Недороды, порождаемые неблагоприятным климатическим режимом, определили необходимость разработки методов воздействия на климат, с тем чтобы свести к минимуму зависимость сельского хозяйства от капризов природы. Поиски решения этой задачи привели к идее планетарного улучшения климата [1]. Объективный анализ палеогеографических материалов рассеял миф о консервативности климата и непреодолимости его инерции.

Анализ современных данных по динамике климата позволяет сделать следующие выводы.

Крупномасштабные климатические изменения на территории СССР от наиболее холодного, а потому наиболее аридного климата максимального оледенения, до любого наиболее благоприятного климатического оптимума антропогена, как было показано, определяются однозначными изменениями теплового уровня поверхности Арктического бассейна. Чем выше был температурный уровень бассейна, тем ниже становился температурный контраст между экватором и полюсом. С межширотным выравниванием температуры климат на Земле, в том числе и на террито-

[1] Первая работа, называвшаяся «Коренное улучшение климата полярных и умеренных широт земного шара», была зарегистрирована Комитетом по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР в 1957 г., № 7337.

рии СССР, улучшался, а биологическая продуктивность земель повышалась повсеместно от тропических пустынь до наиболее холодных зон Заполярья.

Определяющим фактором в формировании теплового режима Арктического бассейна является водообмен с Атлантикой, с ростом которого повышается температура поверхности бассейна, исчезает его ледяной покров, резко возрастает радиационный баланс. Без определенного минимума тепла морской адвекции безледность его неустойчива; вновь возникает ледяной покров, всегда склонный к саморазрастанию.

Рост температуры поверхностных вод Арктического бассейна реактивно вызывает повышение температуры поверхностных вод Мирового океана и в первую очередь Северной Атлантики. С повышением температуры увеличивается испарение с поверхности океана и влагосодержание атмосферы, а с ними и количество осадков на континентах. Поэтому с крупномасштабным потеплением Арктики тепло- и влагообеспеченность материков увеличивалась.

Вскрытые закономерности позволяют решить задачу поэтапного возврата к лучшим климатическим условиям антропогена и плиоцена, что наиболее легко достигается путем переброски атлантических вод через Арктический бассейн в Тихий океан. Она копирует природный путь крупномасштабного улучшения климата, а потому не может не служить убедительной гарантией реальности восстановления благоприятных климатов прошлого, объективно запротоколированных на страницах геологической летописи. Прямоток теплых вод хорошо решается современными средствами большой гидротехники.

Прямоток технологичен, конструктивен и технически ясен. Он допускает гибкое регулирование тепла морской адвекции в любом практически необходимом диапазоне. Современные технические средства — строительная индустрия, машиностроение, энергетика, автоматика и пр. — находятся на уровне, который вполне обеспечивает разрешение поставленной задачи. Дело за международным сотрудничеством ученых и правительств заинтересованных государств и в первую очередь СССР, Канады, США.

Ежегодно и безвозвратно человечество теряет огромное количество труда и материальных средств, чтобы преодолеть современные неблагоприятные климатические условия. Эти потери непрерывно возрастают с ростом населения, развитием и усложнением его хозяйственной деятельности. Они уже настолько возросли, что значительно превышают капиталовложения, обеспечивающие возврат к лучшему климатическому режиму. Настало время, когда больше нельзя ограничиваться разработкой проблем улучшения климата применительно только к мелким, локальным преобразованиям. Это стало столь же нетерпимым, как, скажем, нетерпимо культивирование в наше время конной тяги при одновременном игнорировании железных дорог, автотранспорта, воздушных сообщений и т. д.

Бытующие представления о том, что для планетарных преобразований потребуется объем электроэнергии, превышающей современные возможности, до сих пор вынуждает некоторых исследователей искать решение задачи малонадежными и ограниченными средствами, локально изменять донный рельеф в океанах или применять трудоемкие рассредоточенные средства, чтобы покрыть очень большие акватории пленками, темными порошками, нагревательными устройствами и т. п.

Ныне такие страны, как СССР, США и Канада, ежегодно суммарно вводят энергетические мощности в объеме, который значительно превышает потребность на межокеаническую переброску вод. Наряду с этим следует заметить, что при прямотоке прирост осадков на континентах, определяемый ростом испарения с поверхности Мирового океана, вызывает увеличение речного стока. Последний повысит выработку электроэнергии почти без дополнительных затрат на действующих гидроэлектростанциях. Расчет показывает, что добавочная выработка электроэнергии будет выше расхода ее на межокеаническую переброску вод на любом этапе мелиорации климата. Затраты энергии вполне «самоокупятся» натурой. Поэтому расходы ее на переброску вод не следует вычеркивать из энергетического баланса любой страны и из суммарного баланса всех стран. Гидротехнический комплекс в Беринговом проливе следует рассматривать как своеобразный энергетический узел, который усилит использование тепловой энергии Солнца и частично через механизм испарение, осадки и сток трансформирует ее в электрическую энергию на действующих и строящихся гидроэлектростанциях всего мира.

Представление о слабой энерговооруженности порождает определенную консервативность в органах, планирующих научно-исследовательские работы. Из года в год нарастает разрыв между нашими возможностями крупномасштабного преобразования климата и фактическим состоянием исследований. Наряду с этим, согласно долгосрочным прогнозам советских и зарубежных исследователей, последние десятилетия нашего века будут проходить в обстановке существенного ухудшения климата.

Исходя из анализа вековых колебаний ледовитости Северной Америки И. В. Максимов считает, что в ближайшие годы следует ожидать увеличения ледовитости и возврата к более холодному климату с суровыми зимами и с более жарким и сухим летним периодом. Климат вновь приобретет неблагоприятный характер, имевший место в самом начале прошлого века. Анализируя вековой ход солнечной активности, М. С. Эйгенсон устанавливает неизбежность роста ледовитости полярных морей в ближайшие десятилетия.

Считая, что последние три десятилетия нашего века и, возможно, начало XXI в. будут иметь общий уровень солнечной деятельности значительно более низкий, чем в настоящее время, Л. А. Вительс рекомендует при долгосрочном планировании на несколько десятилетий вперед, когда речь идет о мероприятиях, зависящих от метеорологических условий, учитывать климатические характеристики периодов низкой солнечной активности 1798—1833 гг. и даже по возможности, если позволяют имеющиеся данные, пользоваться характеристиками эпохи 1698—1755 гг., т. е. характеристиками «малой ледниковой эпохи».

В свете таких неблагоприятных прогнозов вопрос тепловой мелиорации северных широт представляется еще более актуальным, а капитальные исследования в этой области приобретают определенную срочность.

Хотя сложность проблемы и обязывает к специальным фундаментальным исследованиям с привлечением наиболее современных средств моделирования, однако было бы несправедливым отодвигать на второй план богатые научные фонды, накопленные за последние десятилетия, в том числе и в годы МГГ/МГС и МГСС. Во всяком случае современные фонды по палеогеографии, климатологии, метеорологии, океанологии, геологии дна океанов, геологии суши, гелиогеосвязям и ряду смежных наук дают возможность создать достаточно стройную и ясную картину формирования и реформирования климатов. Все эти данные позволяют обоснованно рассчитывать на несомненный успех предлагаемой поэтапной реконверсии климата.

Крупномасштабные климатические преобразования не могут быть локализованы границами отдельного государства. Поэтому вопрос большой реконверсии климата неизбежно перерастает национальные рамки и становится в ряд важнейших международных социальных задач и политических проблем современности.

Наконец, последним и вместе с тем главным выводом настоящей работы является тот факт, что в широком географическом аспекте из всех до сих пор выдвинутых проектов и предложений по уменьшению зависимости сельского хозяйства от природной стихии организация прямотока теплых атлантических вод через Арктический бассейн в Тихий океан с попутной ликвидацией морских льдов в Северном полушарии есть мера с технологических позиций наиболее доступная, с позиций выигрыша времени — наиболее эффективная, с позиций международных связей — наиболее прогрессивная, с экологических позиций — наиболее благоприятная.

Тепловая мелиорация Арктики, несомненно, откроет новую главу в международных отношениях многих стран. Это будет касаться не только СССР, Канады, Дании и Аляски (США), территории которых находятся в наиболее холодных областях планеты, но и многих других стран, даже и тех, которые расположены в жарких и пустынных зонах мира.

Литература

Авсюк Г. А. и др. География в системе наук о Земле. — Изв. АН СССР, серия геогр., № 4, 1963.

Берг Л. С. Климат и жизнь. М., Географгиз, 1947.

Борисов П. М. К проблеме коренного улучшения климата. — Изв. Всес. геогр. об-ва, № 4, т. 94, 1962.

Воейков А. И. Воздействие человека на природу. М., 1963.

Герасимов И. П. Уменьшить и свести к минимуму зависимость сельского хозяйства от природной стихии. — Изв. АН СССР, серия геогр., № 5, 1962.

Гричук В. П. Растительность Русской равнины в нижне- и среднечетвертичное время. — Труды Ин-та геогр. АН СССР, т. 46, 1950.

Гросвальд М. Г. Древние береговые линии Земли Фр.-Иосифа и позднеантропогеновая история ее ледниковых покровов. — Сб. «Гляциологические исследования», № 9. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Дзердзеевский Б. Л. Значение анализа общей циркуляции атмосферы при установлении границ сухих и влажных областей. — Сб. «Вопросы географии». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1956.

Дмитриев В. С. Мелиорация земель — важнейший фактор интенсификации сельского хозяйства. М., «Экономика», 1967.

Калесник С. В. Основы общего землеведения М., Учпедгиз, 1955.

Келдыш М. В. XXIII съезд КПСС и задачи АН СССР. — Вестник АН СССР, № 12, 1961.

Кесь А. С. О древних и современных трансгрессиях Аральского моря — Труды Ин-та геогр. АН СССР, т. 79, 1960.

Колобков Н. В. Климат Москвы и Подмосковья. М., изд-во «Московский рабочий», 1960.

Коновер Д. Х. Объяснение изменения климата на основе метеорологических данных. — Сб. Х. Шепли «Изменения климата». М., ИЛ, 1958.

Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1960.

Лазарев П. П. О методе, позволяющем доказать зависимость океанических течений от пассатных ветров и о роли океанических течений в изменении климата в различные геологические эпохи. — Соч., т. III. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950.

Лактионов А. Ф. Северный полюс. М., изд-во «Морской транспорт», 1960.

Лам и Джонсон. Изменения климата и наблюдаемые изменения общей циркуляции атмосферы. — Сб. «Общая циркуляция атмосферы». М., «Прогресс», 1964.

Марков К. К. О динамике Антарктического ледникового покрова. — Сб. «Антарктика», М., Изд-во АН СССР, 1962.

Марков К. К., Величко А. А. Четвертичный период, т. III. М., изд-во «Недра», 1967.

Марков К. К., Лазуков Г. И., Николаев В. А. Четвертичный период, т. I, II. Изд-во МГУ, 1965.

Нансен Ф. В стране льда и ночи, т. 1—2. СПб., 1898.

Нейштадт М. И. Некоторые черты палеогеографии Подмосковья в голоцене. — Труды Ин-та геогр. АН СССР, т. 71, 1957.

Погосян Х. П. Очерки об атмосфере. Л., Гидрометиздат, 1955.

Ракипова Л. Р. Изменения климата при воздействии на льды Арктического бассейна. — «Метеорология и гидрология», № 9, 1962.

Рубинштейн Е. С. К проблеме изменения климата. — Труды Научн.-исслед. учрежд. ГУГМС, серия I, вып. 22. Л.—М., Гидрометиздат, 1946.

Самойленко В. С. Восстановится ли естественный ледяной покров в Арктическом бассейне в случае его уничтожения? — «Океанология», № 6, 1964.

Синицын В. М. Древние климаты Евразии, ч. I, Изд-во ЛГУ, 1965.

Степанов В. Н. О роли тихоокеанских и атлантических вод в преобразовании природы Арктики. — «Проблемы Севера», вып. 7, 1963.

Тябин Н. И. О солнечной обусловленности гидрометеорологических явлений в Приатлантической Арктике. — Астрономический сборник, Львовский гос. университет, вып. 3—4, 1960.

Уиллетт Х. С. Циркуляция атмосферы и океана как фактор изменений климата в ледниковые и межледниковые периоды. — Сб. Х. Шепли «Изменения климата». М., ИЛ, 1958.

Федорович Б. А. Вопросы палеогеографии равнин Средней Азии. — Труды Ин-та геогр. АН СССР, вып. 37, 1945.

Флинт Р. Ледники и палеогеография плейстоцена. М., ИЛ, 1963.

Фейрбридж Р. В. Аридность климата ледниковых эпох в Африке. — Сб. «Проблемы палеоклиматологии». М., изд-во «Мир», 1968.

Шварцбах М. Климаты прошлого. М., ИЛ, 1955.

Шокальский Ю. М. Океанография. Л., Гидрометиздат, 1959.

Шулейкин В. В. Физика моря. М., изд-во «Наука», 1968.

Эйгенсон М. С. Солнце, погода и климат. Л., Гидрометиздат, 1963.

Broecker W. S., Ewing M. and *Heezen B. C.* Evidence for an abrupt change in climate close to 11000 years ago. Amer. J. Sci., No 6, 258, 1960.

Butzer Karl W. Das ökologische Sahara. Math.-naturwiss. Kl. Akad. Wiss und Litter, № 1, 1958a.

Lamb H. H. Our chaning climate past and present. Weather, 1959, vol. 14, № 10.

Rosholt J. N., Emiliani C., Geiss J., Koczy F. F. and *Wangersky P. J.* Absolute dating of Deep-Sea Cores by the Pa^{231}/Th^{230} Method. — The Journal of Geology, vol. 69. No 2, March, Chicago, 1961.

Woldstedt P. Eine neue Kurve der Wurm Eiszeit. Eiszeitalter und Gegenwärt. Bd 9. 1958.

Содержание

Предисловие 5
Беды нашего климата 9
Климаты далекого прошлого 18
Климаты недавнего прошлого 26
Климаты близкого прошлого 31
Современное потепление Арктики 43
Причины изменения климата 49
Закономерности изменения климата 62
Мировой океан, морские течения и их роль в формировании климата 69
Развитие идей регионального и планетарного улучшения климата 81
Возможно ли создание Полярного Гольфстрима? 93
Гольфстрим в Арктическом бассейне 118
Воды Гольфстрима в Тихом океане 127
Первые этапы мелиорации климата 147
Вопросы практического осуществления 163
Перспективы дальнейшего улучшения климата 176
Заключение 185
Литература 190

Петр Михайлович Борисов
Может ли человек изменить климат

Утверждено к печати
редколлегией серии научно-популярных изданий
Академии наук СССР

Редактор *Л. И. Приходько.* Художник *Ю. П. Шашков*
Технический редактор *А. П. Ефимова*

Сдано в набор 12/VIII 1969 г. Т-00654. Подп. к печ. 3/II 1970 г.
Формат 84 × 108¹/₃₂. Бумага типогр. № 2. 6 печ. л. Усл. печ. л. 9,72.
Уч.-изд. л. 9,4. Тираж 35 000 экз. Тип. зак. 443. Цена 31 коп.

Издательство «Наука».
Москва, К-62, Подсосенский пер., 21.

1-я типография издательства «Наука».
Ленинград, В-34, 9-я линия, д. 12.